PRESENTACIÓN

Esta *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera* ha sido elaborada por la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras con la valiosa colaboración de la Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS) y constituye un documento técnico más, integrado en el esfuerzo de divulgación de ideas, armonización de conceptos y normalización tecnológica que la Dirección General de Carreteras viene realizando en estos últimos años.

La Dirección de los trabajos ha correspondido a D. Jesús Santamaría Arias, Ingeniero Jefe del Servicio de Geotecnia de la Dirección General de Carreteras con la ayuda de D. Álvaro Parrilla Alcaide y D. Fernando Moreu Mesa, Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del Estado.

El equipo redactor ha estado constituido por D. Carlos Oteo Mazo, profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, como responsable del mismo, y por D. José Luis Fernández Salso. La supervisión interna de AETESS ha sido realizada a través de su Comité Técnico interviniendo activamente en la misma D. Pedro R. Sola Casado, como presidente, D. Ferrán Biosca, D. José Mª Echave, D. José Mª Herrador, D. Domingo Fernández y D. Julio Retuerto, miembros del referido Comité, todos ellos Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos reconocidos especialistas en Geotecnia.

Este documento trata de describir una serie de reglas de buena práctica que conviene tener en cuenta en el diseño y construcción de anclajes en obras de carretera. Aún cuando lo especificado en la presente publicación no resulta de obligado cumplimiento, se recomienda su uso en obras de la Dirección General de Carreteras, sin perjuicio de la adopción de otras medidas que, circunstancias particulares de la obra o proyecto, pudiesen aconsejar en cada caso.

La experiencia derivada de la construcción y seguimiento de este tipo de elementos constructivos permitirá en el futuro matizar y completar los criterios recogidos en esta Guía. Se invita pues al análisis crítico de su contenido y al envío de cuantas sugerencias o comentarios se estimen oportunos al Servicio de Geotecnia de la Dirección General de Carreteras; Pº de la Castellana 67; 28071 MADRID, e-mail: dirtec.dgc@mfom.es

Madrid, enero de 2001

EL DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS

ANTONIO J. ALONSO BURGOS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

1.1. ALCANCE

Esta Guía se refiere al diseño y a las condiciones mínimas exigibles durante la ejecución de anclajes al terreno (en estructuras de contención, estribos de puente, actuaciones sobre laderas, etc.), tanto provisionales como permanentes.

Recoge las diferentes tipologías y fases que pueden distinguirse durante la ejecución de un anclaje: la perforación del taladro en el terreno, la tipología del tirante con sus protecciones contra la corrosión, su colocación en el terreno, la inyección con sus correspondientes materiales, y el tesado para su puesta en carga.

Recoge asimismo el diseño del anclaje, en cuanto a las necesidades de capacidad resistente de sus materiales constituyentes y del terreno adherente.

Se consideran los tipos de anclajes más frecuentes en España, cuyos tirantes estén constituidos por cables o barras de acero, con independencia de su vida útil, cuyos esfuerzos se transmiten al terreno mediante inyección de lechada de cemento.

No obstante, los anclajes permanentes en ambiente marino, o en terrenos claramente agresivos por otras causas, además de lo establecido en esta Guía, requerirán un estudio especial respecto a la estabilidad de las lechadas de cemento y las protecciones contra la corrosión. Por otra parte, los anclajes fijados al terreno con dispositivos mecánicos, o cartuchos de resina, también requerirán un estudio específico adicional de la parte que transfiere la carga al terreno.

En todo lo que sigue se estará, además de lo indicado en esta Guía, a lo prescrito en el artículo 675 *Anclajes* del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)[(1)].

1.2. NOMENCLATURA

En este documento se usan, entre otras, las siguientes definiciones:

Adherencia límite del bulbo del anclaje: También llamada ***de arrancamiento***, es la capacidad máxima unitaria del terreno que rodea el bulbo frente al deslizamiento de éste. Su integración es la capacidad externa del anclaje (Apartado 3.2).

Anclaje: Elemento capaz de transmitir esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona interior del mismo. Consta básicamente de ***cabeza, zona libre*** y ***bulbo o zona de anclaje*** (Figura 1.1).

Anclaje activo: Un anclaje sometido a una carga de tesado, después de su ejecución, no inferior al 50% de la máxima prevista en proyecto (Apartado 2.1).

---

(1) Véase: Orden FOM 1382/2002 de 16 de mayo (BOE de 11 de junio y corrección de erratas en BOE del 26 de noviembre de 2002), por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones.

Anclaje pasivo: Un anclaje sometido a una carga inicial baja, normalmente comprendida entre el 10 y el 25% de la máxima prevista en proyecto para el mismo (Apartado 2.1).

Anclaje permanente: Anclaje cuya vida útil se considera superior a dos años. (Apartado 2.1)

Anclaje provisional o temporal: Anclaje cuya vida útil no es superior a dos años. En caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos (p. e. ambiente marino, terrenos yesiferos, terrenos con sal gema, terrenos contaminados con queroseno o pesticidas, etc.) este periodo deberá ser reducido, de acuerdo con lo establecido en proyecto (Apartado 2.1).

Anclaje retesable: Un anclaje que permite operaciones que varíen su carga durante su vida útil (Apartado 2.1).

Anclaje no retesable: Un anclaje que no permite operaciones que varíen su carga (Apartado 2.1).

Bulbo: También llamado ***zona de anclaje***, es la parte en que el anclaje se adhiere al terreno y le transmite su carga, generalmente mediante la lechada, y que se tiene en cuenta a efectos resistentes (Figura 1.1).

Cabeza, o cabezal del anclaje: Parte externa del anclaje capaz de transmitir la carga del tirante a la superficie del terreno o a la estructura a anclar. Esta zona se compone a su vez normalmente de: ***placa de reparto, cuñas*** o ***tuercas, portacuñas*** y ***protección***. Incluye la transición a la zona libre (Figura 1.1).

Capacidad externa del anclaje: Carga que produce el deslizamiento continuo del bulbo bajo carga constante (Apartados 3.2 y 5.6).

Capacidad interna del anclaje: Carga correspondiente al limite de rotura del tirante del anclaje (Apartados 3.2 y 5.6).

Caperuza: Elemento metálico o de plástico utilizado para proteger la cabeza de los anclajes permanentes. (Apartado 2.3.3)

Carga critica de deslizamiento: Es la carga a partir de la cual se produce en los ensayos, fundamentalmente de investigación, un cambio brusco en la velocidad de deslizamiento (Apartado 5.1).

Carga nominal: Es la carga de Proyecto, normalmente obtenida en los cálculos de estabilidad de la estructura anclada (Apartado 3.1).

Carga de prueba: Es la carga máxima a la que se somete un anclaje durante un ensayo (Apartado 5.1).

Carga de referencia o inicial: Es la carga a partir de la cual se inicia la medida de alargamientos o deformaciones. Suele ser el 10% de la carga de prueba (Apartado 5.1).

Carga residual: Es la carga que se mide en cualquier momento de la vida útil del anclaje. Suele variar con el tiempo por efecto de pérdidas de carga diferidas o movimientos de la estructura (Apartado 5.1).

Carga de tesado: También llamada de ***trabajo*** o de ***bloqueo***, es la carga aplicada al anclaje después de completar el tesado y una vez bloqueadas las cuñas. Es recomendable que sea algo inferior a la ***nominal*** del anclaje (Apartado 5.4).

Centrador: Elemento solidario al tirante para asegurar su recubrimiento. (Apartado 4.4).

Coeficientes de mayoración: Son las magnitudes por las que se multiplica la carga nominal del anclaje, para tener en cuenta la situación de cálculo y el tipo de obra y de esfuerzo actuante (Apartado 3.2).

Coeficientes de minoración: Son las magnitudes por las que se dividen los parámetros resistentes del tirante y del bulbo, teniendo en cuenta el tipo de anclaje (Apartado 3.2).

Ensayo de aceptación o recepción: Ensayo de carga realizado una vez concluido cada anclaje en el que deben confirmarse los criterios de recepción definidos en proyecto (Apartado. 5.4)

Ensayo de adecuación: También llamado ***de idoneidad o control***; ensayo de carga realizado en condiciones idénticas a la de los anclajes de la obra, en el que se trata de definir al menos la capacidad para soportar la carga de prueba y las pérdidas de tensión hasta la misma, así como la longitud libre (Apartado 5.3).

Ensayo de investigación: Ensayo de carga previo a la ejecución de los anclajes de la obra, mediante el que tratan de definirse fundamentalmente la resistencia del bulbo en el contacto terreno-lechada, la longitud libre aparente y la carga crítica de fluencia del mismo (Apartado 5.2).

Inyección: Proceso de la ejecución de un anclaje, que permite transmitir la carga del tirante al terreno a través de la zona de bulbo. Siempre se efectúa en la perforación, antes del tesado del anclaje (Apartado 4.5.2).

Inyección previa: Inyección realizada para rellenar el taladro cuando se observan perdidas importantes en la inyección de los anclajes (normalmente superiores a tres veces su volumen teórico). En este proceso a veces se sustituye la lechada por mortero de cemento (Apartado 4.5.3).

Inyección repetitiva (IR): Inyección efectuada normalmente a través de latiguillos o circuitos globales con válvulas, con un número de reinyecciones generalmente no superior a dos, realizada para mejorar la capacidad del anclaje en su bulbo (Apartado 2.1 y figura. 2.4).

Inyección repetitiva y selectiva (IRS): Inyección efectuada normalmente a través de tubos manguito, separados no más de un metro. Esta inyección debe hacerse, generalmente, más de dos veces y en manguitos seleccionados. Mejoran la capacidad del bulbo del anclaje al permitir realizar inyecciones de zonas concretas del mismo, controlando la presión y la admisión (Apartado 2.1 y figura 2.5).

Inyección única global (IU): Inyección efectuada en una sola fase para rellenar el taladro de la perforación. Se realiza normalmente a través de un tubo flexible solidario con el tirante (Apartado 2.1 y figura 2.3).

Juntas tóricas: Elementos empleados para sellar la zona de transición de la cabeza a la zona libre (Apartado 2.3.3).

Longitud libre aparente: Longitud teórica de la zona libre de un anclaje obtenida en un ensayo de puesta en carga según las leyes de la elasticidad, a partir de las fuerzas aplicadas, las deformaciones elásticas observadas y las características geométricas y mecánicas del tirante (Capítulo 5).

Manguito termo-retráctil: Elemento que se contrae con el calor y que sirve para sellar los extremos de los tubos o vainas (Apartado 2.3.3).

Placa de reparto: Elemento generalmente metálico que reparte los esfuerzos del anclaje a la estructura (Apartado 3.2 y figura 1.1).

Separador: Elemento solidario al tirante para asegurar el trabajo independiente de sus elementos (Figura 2.1).

Tesado: Operación en la cual se transmite una tensión al tirante, y de éste al terreno a través del bulbo. Durante la misma se debe controlar la curva alargamiento-carga (Apartado 4.6).

Tirante: Elemento del anclaje, constituido por cables o barra de acero de alta resistencia, que transmite la carga desde la cabeza al bulbo (Figura 1.1).

Tubo corrugado: Elemento cilíndrico, generalmente de plástico, que se utiliza como protector anticorrosión en los anclajes. (Apartado 2.3).

Vaina: Elemento normalmente de plástico, que se emplea como protector anticorrosión de los anclajes (Apartado 2.3 y figura 2.1).

Volumen normal: Cantidad máxima de lechada que es previsible que sea necesario inyectar para la ejecución de un anclaje. Dependerá fundamentalmente de las características del terreno circundante, y a efectos de este documento puede limitarse en unas tres veces el volumen teórico de inyección (Capítulo 6).

Zona libre o longitud libre: Es la parte del anclaje situada entre la cabeza y el bulbo o zona de anclaje, dotada de libre alargamiento (Figura 1.1).

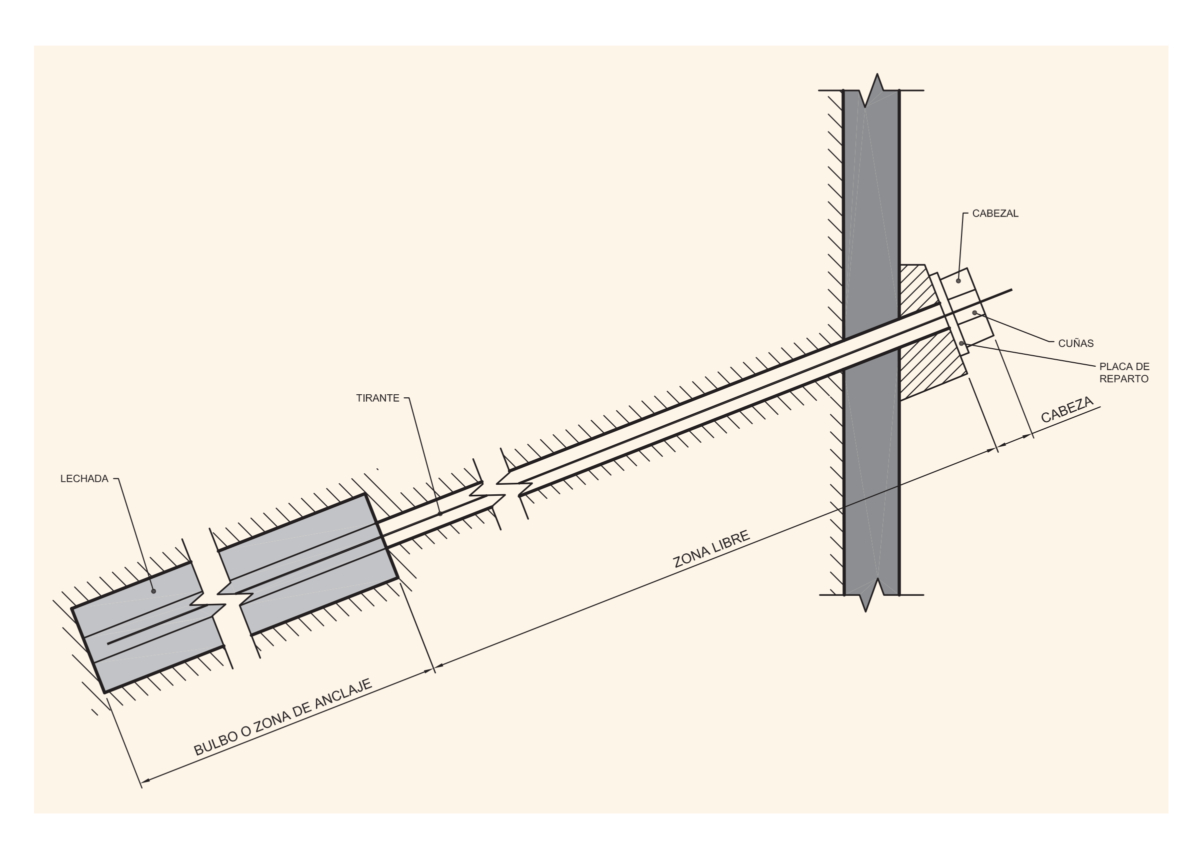


FIGURA 1.1. **CROQUIS DE UN ANCLAJE**

TIPOS DE ANCLAJES CONSIDERADOS EN ESTA GUÍA. MATERIALES Y PRODUCTOS

2

2.1. CLASIFICACIÓN Y RECOMENDACIONES DE USO

Los anclajes se clasifican, según el nivel de carga inicial que se les aplica, en ***activos*** y ***pasivos***. A los primeros se les somete a una carga de tesado, después de su ejecución, generalmente del mismo orden de magnitud que la máxima prevista en proyecto, y nunca inferior al 50% de esta última, mientras que a los segundos se les deja con una carga inicial baja, aunque nunca inferior al 10 % de la máxima de proyecto, que adquieren normalmente por los movimientos de la estructura. Esta Guía se refiere principalmente a los anclajes activos.

También, en función de los elementos constituyentes de los tirantes, se clasifican en ***anclajes de cables*** o ***anclajes de barra***.

Otra clasificación que debe hacerse es atendiendo a su vida útil, así, se denomina ***anclaje permanente*** al proyectado para una vida superior a los dos años, y ***anclaje provisional*** al que debe actuar durante un periodo inferior a esos dos años, o menor en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos. En la figura 2.1 se incluye el croquis de un anclaje provisional, y en la 2.2 un detalle de la cabeza de un anclaje permanente.

En cuanto a la facultad de efectuar operaciones que varíen la carga sobre los anclajes durante su vida útil, se clasifican en ***retesables*** y ***no retesables.***

Finalmente también se clasifican, según se efectúe o no la ***reinyección*** del bulbo, como: de ***inyección única*** global (IU), de ***inyección repetitiva*** (IR) o de ***inyección repetitiva y selectiva*** (IRS). En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 se incluyen croquis de los procedimientos de inyección IU, IR e IRS de los anclajes.

La nomenclatura de los anclajes contemplados en esta Guía es la siguiente:

VIDA ÚTIL Y TIPO DE INYECCIÓN	TIRANTE DE CABLES	TIRANTE DE BARRA
Provisional con inyección única global (IU)	Tipo 1	Tipo 5
Provisional con inyección repetitiva (IR)	Tipo 2A	Tipo 6A
Provisional con inyección repetitiva y selectiva (IRS)	Tipo 2B	Tipo 6B
Permanente con inyección única global (IU)	Tipo 3	Tipo 7
Permanente con inyección repetitiva (IR)	Tipo 4A	Tipo 8A
Permanente con inyección repetitiva y selectiva (IRS)	Tipo 4B	Tipo 8B

- Las reinyecciones, o inyecciones repetitivas en varias fases tienen por objeto aumentar la capacidad del anclaje en la zona de bulbo. Los parámetros de presión y caudal deben definirse en el Proyecto.
- Los anclajes del tipo IU suelen ser los más adecuados en rocas, terrenos cohesivos muy duros y suelos granulares.
- Los anclajes del tipo IR se emplean generalmente en rocas fisuradas blandas y en aluviales granulares gruesos e incluso finos.
- Los del tipo IRS se recomiendan en suelos con predominio de finos y de consistencia media-baja.
- Los anclajes de cable son preferibles frente a los de barra en terrenos que puedan sufrir movimientos, para evitar una rigidez excesiva en la cabeza que pueda llegar a su rotura, y cuando hay que absorber acciones que requieran gran capacidad.
- En los anclajes por encima de la horizontal, en que pueden existir problemas de estabilidad del taladro, o de obturación durante la inyección, es conveniente inyectar a presión en varias fases (tipos IR o IRS).

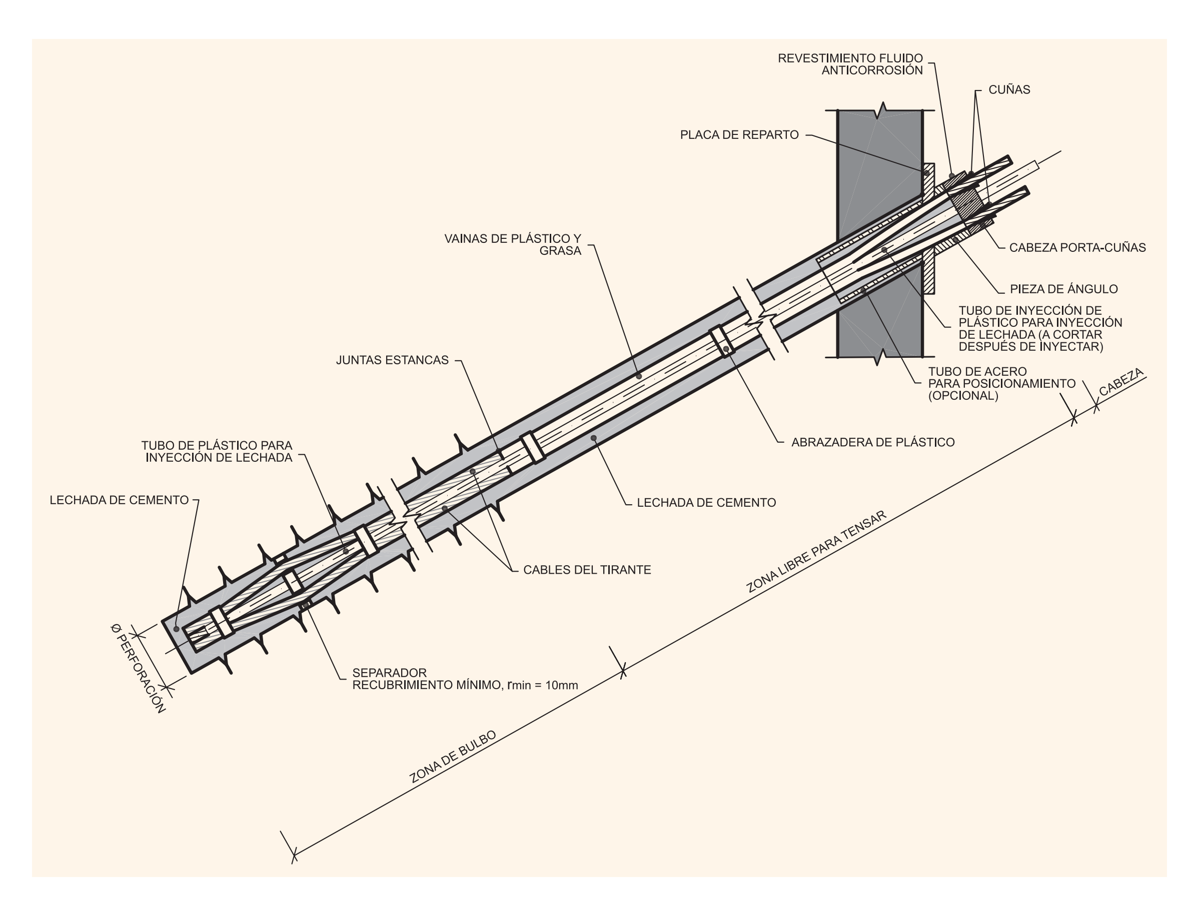


FIGURA 2.1. **CROQUIS DE UN ANCLAJE PROVISIONAL**

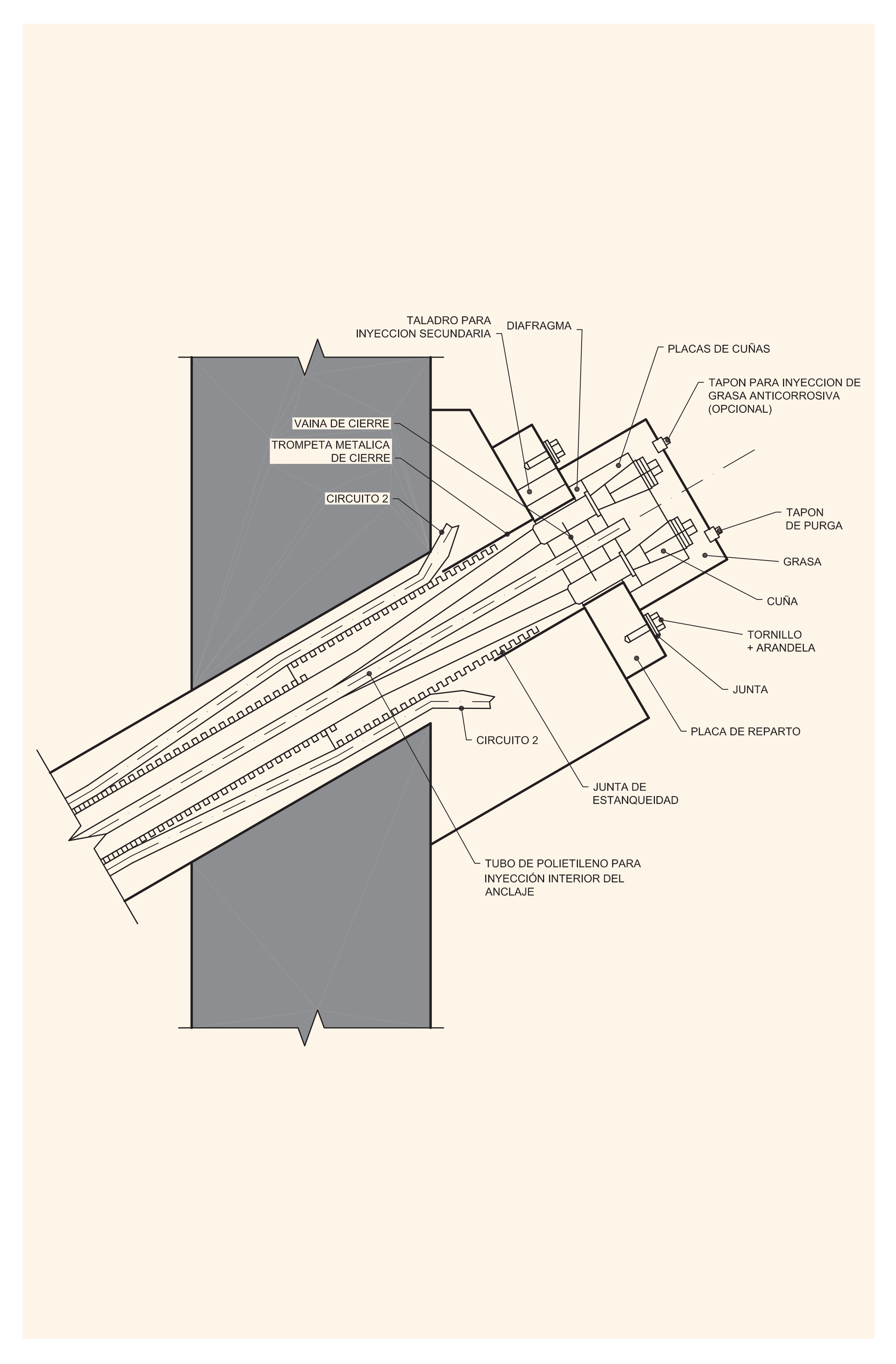


FIGURA 2.2. **CROQUIS DE LA CABEZA DE UN ANCLAJE PERMANENTE**

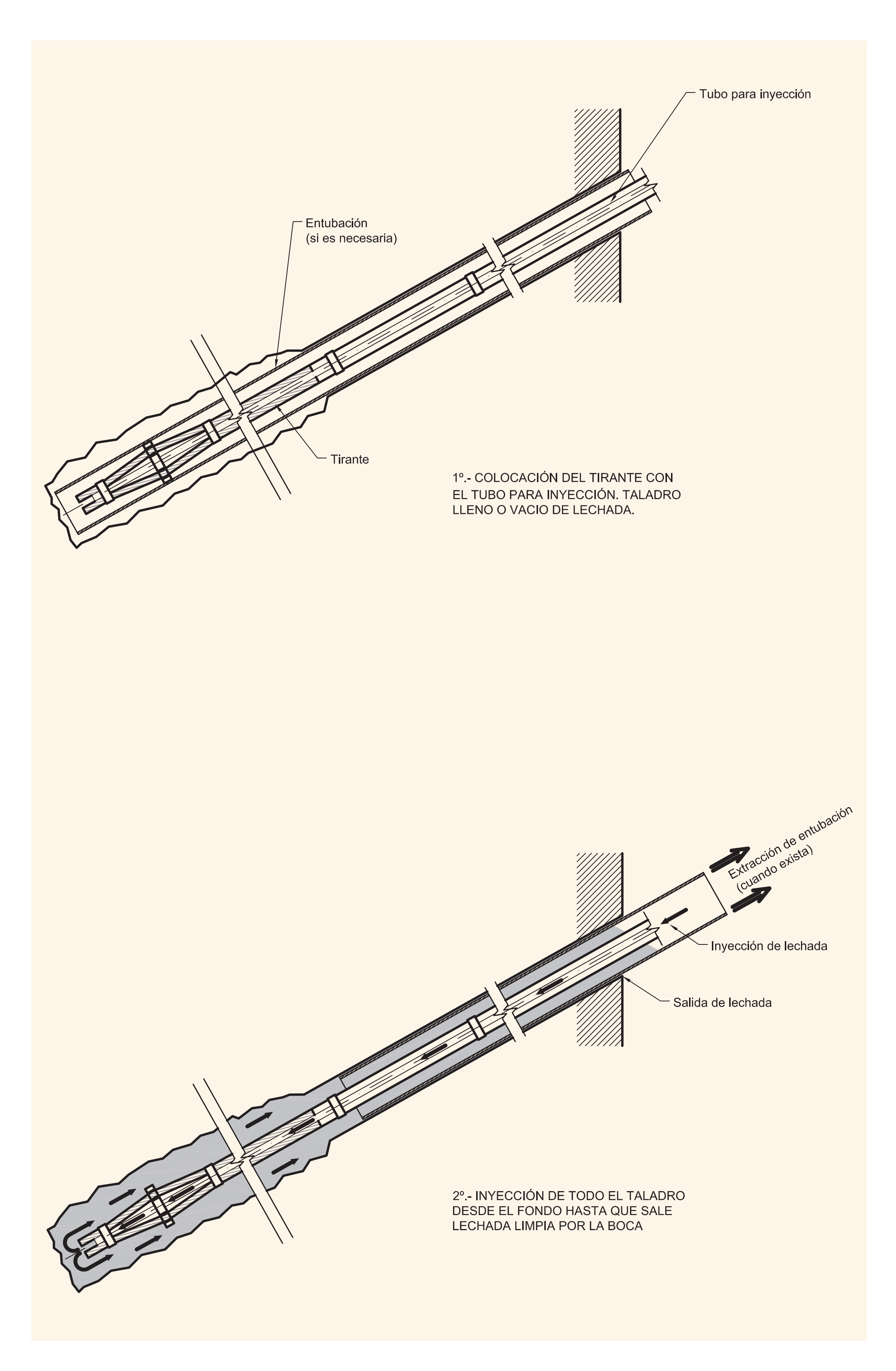


FIGURA 2.3. **PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (ANCLAJES IU) (TIPOS 1, 3, 5 Y 7)**

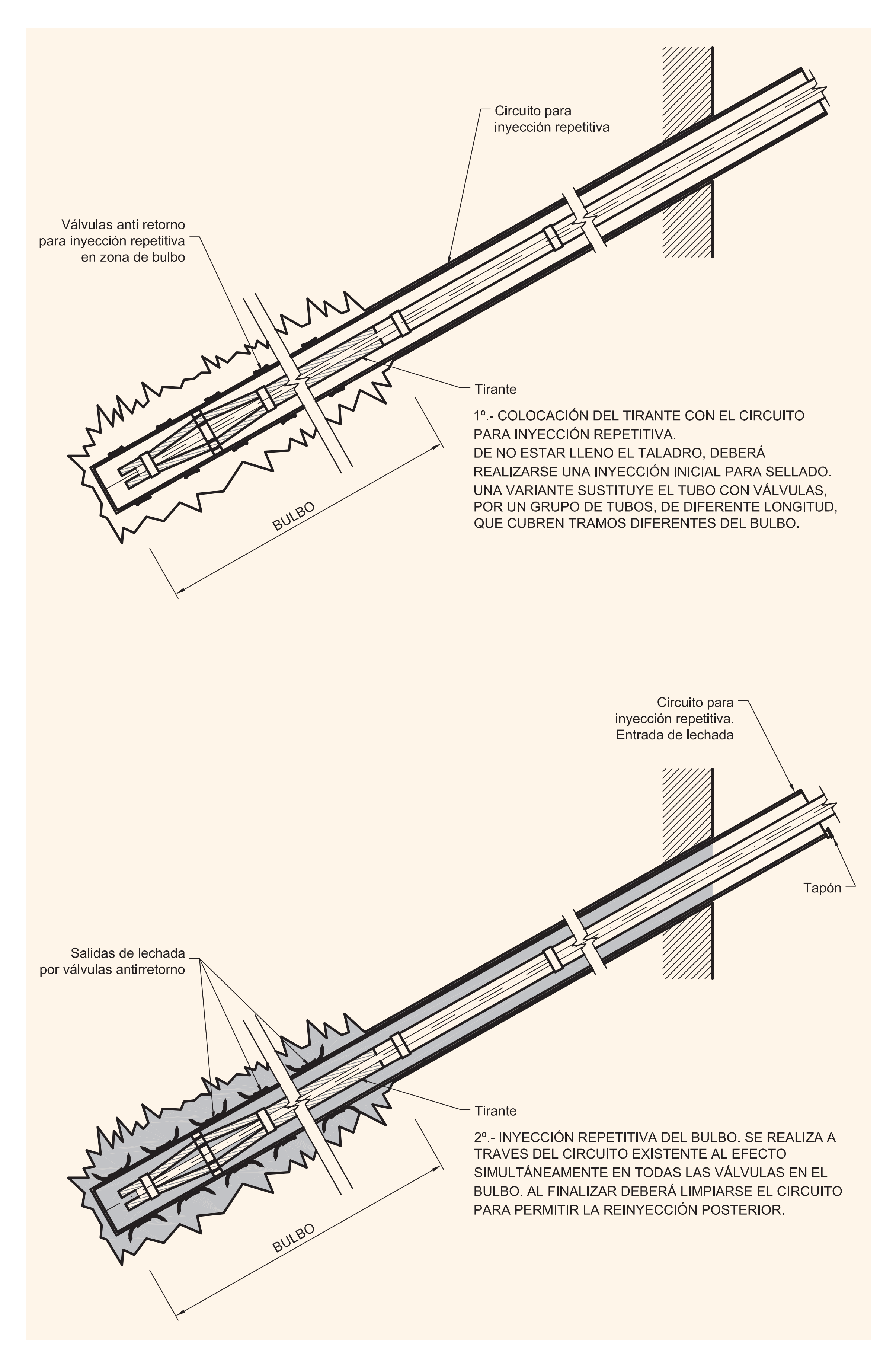


FIGURA 2.4. **PROCEDIMIENTOS DE INYECCIÓN REPETITIVA (ANCLAJES IR) (TIPOS 2A, 4A, 6A Y 8A)**

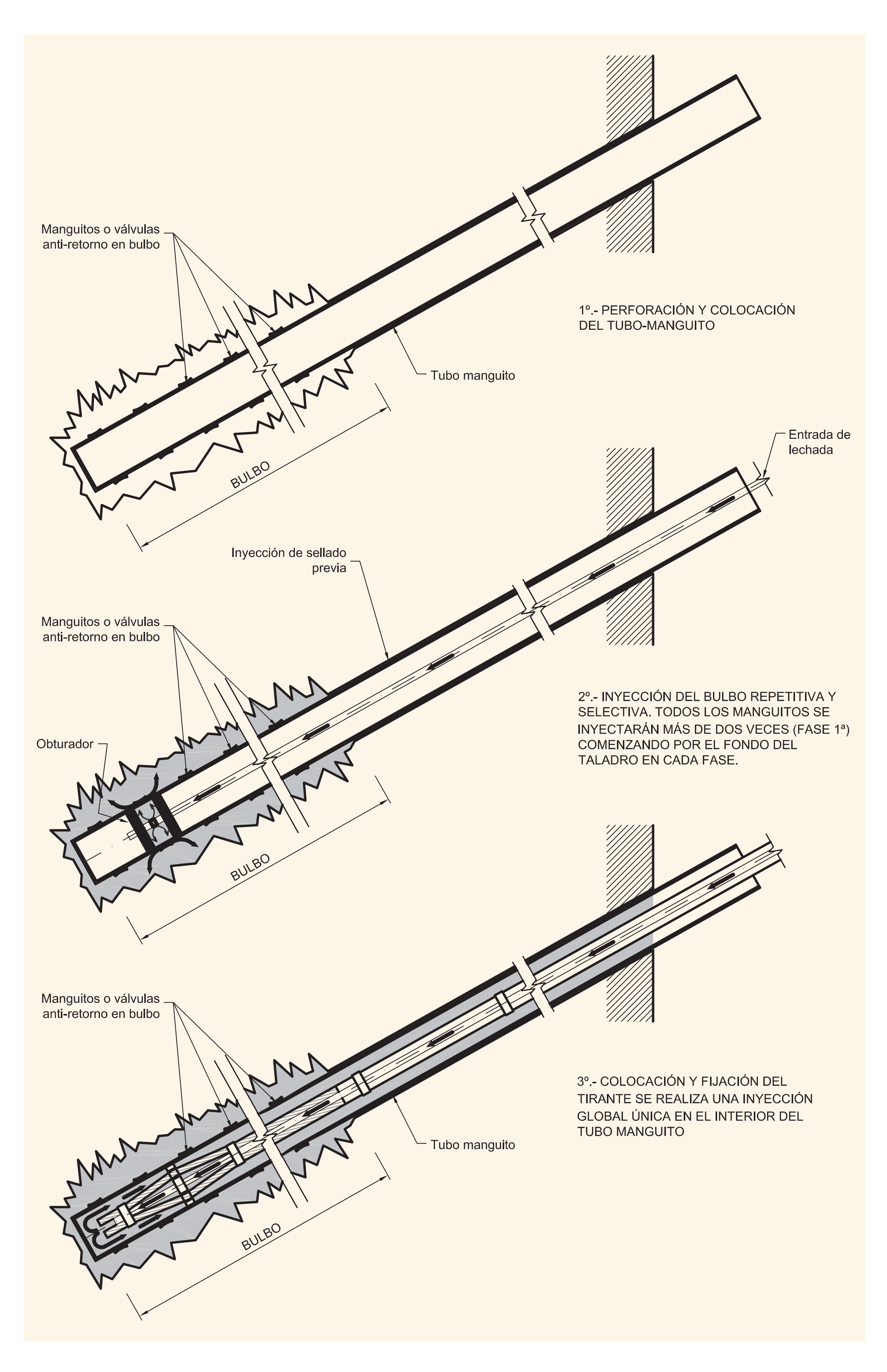


FIGURA 2.5. **PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN REPETITIVA Y SELECTIVA (ANCLAJES IRS) (TIPOS 2 B, 4 B, 6 B Y 8 B)**

2.2. MATERIALES CONSTITUYENTES DE LOS ANCLAJES

2.2.1. GENERALIDADES

A efectos de este documento los materiales constituyentes de los anclajes se consideran adecuados si cumplen además de la normativa obligatoria relativa a cada uno de ellos, los requisitos que se citan en los siguientes apartados.

No se emplearán piezas correspondientes a sistemas de ejecución diferentes (patentados por diferentes empresas) en tramos homogéneos de estructura, ni tampoco aquellas que no tengan garantizada su inalterabilidad durante la vida útil de las obras.

2.2.2. ACEROS

El acero de los tirantes deberá cumplir, en cuanto a su calidad y resistencia, lo especificado tanto en la normativa nacional, fundamentalmente EHE y PG-3, como en la europea, Eurocódigo 2, o la que la sustituya en su caso.

El Contratista deberá facilitar al Director de las Obras toda la información de carácter técnico e identificativo de todas las partidas de acero que se vayan a utilizar en la obra de referencia.

La cabeza del anclaje debe permitir tesar el tirante hasta la carga de prueba, o carga inicial. Deberá asimismo ser capaz de absorber el 100% de la tracción correspondiente al limite de rotura del acero.

Cuando esté previsto en el Proyecto, permitirá un destesado y un posterior tesado del anclaje así como, en su caso, la inclusión de células de medida de tensión de anclaje.

Deberán admitirse desviaciones angulares del tirante, respecto a una dirección normal a la cabeza, de hasta tres grados sexagesimales (3°) a una carga del 97% del limite elástico del tirante. Además se dispondrán los elementos necesarios para transmitir la carga del tirante a la estructura.

La calidad de los aceros de los tirantes de los anclajes será al menos la especificada en la tabla 2.1.

TABLA 2.1. **PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS (MPa)**

TIPO DE TIRANTE	LIMITE ELÁSTICO (MPa)	CARGA UNITARIA DE ROTURA (MPa)
Barra tipo DW (Diwidag) o similar	850	1.050
Barra tipo Gewi o similar	500	550
Cables	1.710	1.910

Normalmente las tensiones de trabajo de estos aceros son del 60 % de su límite elástico en los anclajes permanentes y del 75 % en los anclajes provisionales.

No se permitirán ***empalmes*** de los tirantes en la zona de bulbo del anclaje, salvo justificación específica en los tirantes de barra y con un diámetro de perforación adecuado. Dichos empalmes no interferirán ni en el libre alargamiento ni en la protección anticorrosión. En particular, según se especifica en el epígrafe 675.2.3 del PG-3: «*Será necesario que la armadura no lleve manguito alguno en la zona de bulbo*»

Los tirantes en la ***zona de bulbo*** pueden ser barras corrugadas, cables (o trenzas). Sólo en casos excepcionales, previa justificación adecuada y con la autorización del Director de las Obras, se podrán emplear aceros lisos ayudados con dispositivos especiales.

Se colocarán los ***centradores*** necesarios que garanticen la correcta colocación del tirante, de los elementos de protección contra la corrosión y del resto de los elementos en la perforación; éstos no deben impedir el flujo correcto de la inyección. El recubrimiento mínimo entre el elemento metálico y el terreno será de 10 mm. Asimismo, se dispondrán los separadores precisos para asegurar el funcionamiento de los elementos del tirante.

2.2.3. Lechadas de cemento

Las ***lechadas de cemento*** utilizadas en la protección anticorrosión en contacto con las armaduras, deberán tener una dosificación agua/cemento (a/c) no superior a 0,4 para limitar el agua libre.

Las lechadas empleadas en la formación del bulbo, dependiendo de las características del terreno, se dosificarán con una relación agua/cemento (a/c) comprendida entre 0,4 y 0,6, salvo indicación contraria del Director de las Obras.

El cemento será resistente a la presencia de sustancias agresivas en el terreno (p.e. sulfatos). Son de aplicación la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos RC, la EHE y el PG-3.

Previa autorización del Director de las Obras, y siempre que no sean dañinos al tirante y a la inyección, se podrán utilizar ***aditivos*** para aumentar la manejabilidad y compacidad de la lechada, para reducir el agua libre y la retracción y para acelerar el fraguado. No deben contener más de un 0,1% en peso de cloruros, sulfatos o nitratos.

Si fuera necesario, y para limitar las perdidas en la perforación, se podrá incorporar arena a las lechadas de cemento. En este caso debe ensayarse previamente la mezcla para estudiar su inyectabilidad.

2.3. SISTEMAS Y MATERIALES DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

2.3.1. Introducción

Todos los elementos de acero sometidos a tracción estarán protegidos contra la corrosión durante toda su vida útil. Este periodo determina la clase de protección:

- Menos de dos años, o un periodo inferior en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos: anclajes provisionales.
- Más de dos años: anclajes permanentes.

2.3.2. Sistemas de protección considerados en esta Guía

A efectos de este documento, en los ***anclajes provisionales*** se consideran adecuados únicamente los tipos de protección contra la corrosión de los tirantes, y de otros elementos, indicados en la tabla 2.2.

TABLA 2.2. **PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN EN ANCLAJES PROVISIONALES**

ZONA DEL ANCLAJE	SISTEMA DE PROTECCIÓN	
Zona de bulbo	Tirante rodeado de lechada de cemento con 10 mm de recubrimiento	
Zona Libre	Uno de entre los que se citan:	Cada tendón, o la barra, rodeado de una vaina de plastico terminada en una junta estanca
		Cada tendón, o la barra, rodeado de una vaina de plastico rellena de material anticorrosion
		Todos los tendones rodeados por un tubo de plástico relleno de material anticorrosión
Enlace entre cabeza y zona libre	Un tubo de plástico solidario a la placa que recubra el tubo o vainas de la zona libre	
Cabeza	Revestimiento no fluido formado de productos anticorrosión (con o sin caperuza metálica o de plástico), y sin que afecte a los elementos de bloqueo. En zonas de riesgo frente agresiones mecánicas se recomienda proteger la cabeza con caperuza metálica o de plástico.	

En los ***anclajes permanentes*** la protección deberá garantizar una barrera continua de material anticorrosión entre el tirante y el terreno, de forma que no se deteriore durante el periodo previsto de utilización del anclaje. Las protecciones, en este caso, serán las dadas en la tabla 2.3.

TABLA 2.3. **PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN EN ANCLAJES PERMANENTES**

ZONA DEL ANCLAJE	SISTEMA DE PROTECCIÓN	
Zona de bulbo	Uno de entre los que se citan:	Un tubo corrugado de plástico conteniendo el tirante, con vaina estanca entre la lechada de cemento que protege el tirante y la inyección del bulbo. El espesor mínimo de lechada entre tirante y tubo será de 5 mm.
		Un tubo corrugado de plástico conteniendo el tirante, preinyectado con lechada de cemento. El espesor mínimo de lechada entre tirante y tubo será de 5 mm.
		Dos tubos concéntricos corrugados conteniendo el tirante, preinyectados, la zona central y el espacio anular, con un producto viscoso de protección o con lechada de cemento. El espesor mínimo de recubrimiento será de 5 mm.
Zona Libre	Uno de entre los que se citan:	Una vaina de plástico por tendón, rellena de un producto viscoso de protección.Más A, B ó C de la relación siguiente
		Una vaina de plástico por tendón, rellena de lechada de cemento.Más A ó B
		Una vaina de plástico común al tirante, rellena de lechada de cemento. Más B de la relación siguiente
		A) Un tubo de plástico común al tirante, relleno de producto viscoso anticorrosión B) Un tubo de plástico común al tirante, con los extremos soldados y estancos a la humedad C) Un tubo de plástico común al tirante, relleno de lechada de cemento
Enlace entre cabeza y zona libre	Un tubo metálico, o de plástico, estanco y solidario a la placa del anclaje. Se unirá de forma estanca, o se emplearan juntas tóricas, al tubo de plástico exterior de la zona libre. Se rellenara de lechada de cemento o un producto viscoso de protección.	
Cabeza	Caperuza metálica revestida o galvanizada, de 3 mm de espesor mínimo de pared, o caperuza rígida de plástico, de al menos 5 mm de espesor de pared, fijada a la placa de apoyo. Se rellenará de un producto viscoso contra la corrosión y junta de estanqueidad.	

Los productos viscosos de protección contra la corrosión deberán cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla 2.4.

TABLA 2.4. **REQUISITOS DE LOS PRODUCTOS VISCOSOS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN**

PROPIEDAD	UNIDADES	MÉTODO DE ENSAYO	VALORES DE ACEPTACIÓN
Contenido en azufre libre, sulfatos, sulfuros	ppm	DIN 51759 ASTM D130	≤50
Contenido en iones cloruro, nitrato, nitrito, tiocianato	ppm	ASTM D512 DIN 51576	≤50
Resistividad eléctrica	Ω . cm	DIN 53483	$\geq 10^9$
Absorción de agua, 0,1N KOH, después de 30 días	%	DIN 53495	≤2
Acidez	mg KOH/g	DIN 53401 ASTM D94	≤5
Desaceitado sobre papel filtro a 50º C, 24 horas. Diámetro de la mancha de aceite	Diámetro en mm	No existe normativa. Muestra 20 g en tubo abierto de 20/24 mm de diámetro y 30 mm de altura (Ø = 20/24 mm; H = 30 mm)	≤5
Profundidad de penetración durante el ensayo de desaceitado, en una lechada de cemento endurecido de un espesor de 5 mm, a 50º C, después de 7 días	mm	No existe normativa. Muestra similar a la del ensayo de desaceitado	≤2
Estabilidad térmica, 24 horas, número de gotas de aceite sobre el tamiz para un aumento de temperatura de 10º C, cada 2 horas	º C. Aparición de gotas de aceite	Conducto de 26 x 18 mm, con una inclinación del 10% y con un tamiz de 0,5 mm en la extremidad inferior, relleno con la muestra	≥40
Punto de gota	º C	DIN 51801	≥60
Protección contra la oxidación. Brisa marina 5% ClNa durante 168 h a 35º C	Determinación visual	Véase UNE EN 1537	Sin corrosión
Idem a 40º C	%	Véase UNE EN 1537	≤5

2.3.3. Materiales de protección considerados en esta Guía

2.3.3.1. Elementos de protección

Las vainas y tubos de plástico si fueran de polipropileno o de polietileno de alta densidad deberán ser continuas, impermeables, no frágiles y resistentes a los rayos ultravioletas, durante su almacenamiento, transporte y puesta en obra. Sus uniones deberán ser estancas al agua, y el sellado será por contacto directo o mediante juntas de sellado.

Si se utiliza PVC –poli (cloruro de vinilo)– será resistente al envejecimiento y no producirá cloro libre.

El espesor mínimo de una vaina externa corrugada, que contenga una o varias armaduras, será de 1 mm para un diámetro interior menor de 8 cm, de 1,5 mm para diámetro interior comprendido

entre 8 y 12 cm, y de 2 mm para diámetros interiores superiores a 12 cm. En tubos lisos el espesor será 1 mm mayor que los anteriores, o irá reforzado en proporción equivalente.

En los tubos internos corrugados el espesor mínimo será de 0,8 mm, y si el tubo interno es liso, dicho espesor mínimo será de 1 mm.

Salvo aprobación expresa en otro sentido por parte del Director de las Obras, si los tubos o vainas de plástico transmiten cargas, como ocurre en la zona de bulbo, deben ser corrugados con la amplitud y frecuencia de corrugas suficientes para transferir las cargas sin presentar deslizamiento.

Deben comprobarse en todo caso las magnitudes anteriores. Asimismo debe ensayarse la integridad de la barrera de protección a tracción, aplicando en laboratorio al tirante, a la lechada de protección y a los tubos o vainas unas tensiones idénticas a las de servicio del anclaje, y observando las fisuras de la lechada y de los tubos.

Cuando se confía la protección a un solo tubo corrugado de plástico en un anclaje permanente, es conveniente efectuar ensayos para verificar la integridad del tubo a lo largo de todo el anclaje. Estos ensayos serán de resistencia eléctrica, realizados después de la inyección pero antes de la puesta en carga. Se debe garantizar el aislamiento de los tendones con respecto al terreno.

El ensayo de resistencia eléctrica (ERM I) consiste en conectar el polo positivo de una batería al tirante del anclaje y el polo negativo a tierra. Aplicando una tensión de 500 V de corriente continua, el aislamiento del tubo es aceptable si la resistencia eléctrica supera los valores especificados en el apéndice A.

En el protocolo de ejecución, que se presentará al Director de las Obras, se contemplará el número de estos ensayos a realizar, que deberá ser igual, al menos, al de ensayos de investigación y adecuación (ver apartados 5.2 y 5.3).

Se podrán utilizar ***manguitos termo-retráctiles*** para sellar en sus extremos a las vainas o tubos que confinan los productos anticorrosión que recubren al tirante. El calentamiento de este manguito no debe alterar el plástico de otros tubos o vainas que pudieran existir.

El porcentaje de retracción debe ser suficiente para evitar huecos a largo plazo. El espesor mínimo de los manguitos, después de la retracción, no debe ser inferior a 1 mm.

Para sellar se podrán emplear ***juntas tóricas*** para evitar la perdida hacia el exterior del producto de protección contra la corrosión, o la entrada de agua hacia el interior.

Las ***juntas mecánicas*** deberán estar selladas con juntas tóricas, juntas de estanqueidad o manguitos termo-retráctiles. Estas juntas deben prevenir las fugas de relleno o penetración de agua desde el exterior, para cualquier movimiento relativo entre los elementos considerados.

2.3.3.2. Materiales de protección

La ***lechada*** de ***cemento*** se considera válida como única protección anticorrosión en la zona de bulbo, tan solo en anclajes provisionales (tipos 1, 2, 5 y 6), cuando el recubrimiento entre el tirante y el terreno, a lo largo de toda la longitud del anclaje, no sea inferior a 10 mm. (Tabla 2.2)

En anclajes permanentes (tipos 3, 4, 7 y 8) con doble protección, se podrá realizar la protección interior de dos barreras, mediante la inyección de lechada de cemento de alta dosificación (relación agua/cemento no superior a 0,4) si el recubrimiento entre el tirante y el tubo corrugado más próximo no es inferior a 5 mm y los resultados de los ensayos de resistencia eléctrica son satisfactorios (Tabla 2.3 y apéndice A).

Se podrán considerar como protección permanente las inyecciones controladas de ***productos viscosos*** (que cumplan los criterios de la tabla 2.4), en el interior de los dos tubos corrugados de plástico del bulbo, siempre que los recubrimientos sean superiores a 5 mm, estén confinados y que no sufran retracciones ni fisuraciones.

Se podrán utilizar como productos protectores de la corrosión las ***ceras***, del petróleo y las ***grasas***, si no son oxidables y son resistentes a los ataques bacterianos y microbiologicos, siempre que cumplan las características exigidas en la tabla 2.4.

En todos los casos en las protecciones permanentes, los productos deben estar perfectamente confinados en una vaina resistente, estanca a la humedad y resistente a la corrosión.

Los productos no confinados se pueden utilizar como protección provisional a condición de ser aplicados como si se tratase de una pintura.

2.3.3.3. Otros elementos

En los anclajes permanentes (tipos 3, 4, 7 y 8), se podrán utilizar ***caperuzas metálicas*** como barreras de protección de la cabeza del anclaje si están convenientemente protegidas externamente. Esta protección puede ser mediante galvanizado en caliente o por aplicación de varias capas de pintura de revestimiento. El espesor mínimo de su pared será de 3 mm.

También se podrán emplear ***caperuzas de plástico*** rígidas con espesores mínimos de pared de 5 mm. El interior de las caperuzas se rellenara con un producto viscoso anticorrosión. (Tabla 2.3).

En los anclajes provisionales (tipos 1, 2, 5 y 6), bastará, normalmente, con aplicar el producto anticorrosivo, como si de una pintura se tratase, sobre los componentes de la cabeza.

2.3.4. Colocación de los materiales y sistemas de protección

Los sistemas de protección no deben obstaculizar las operaciones de tesado o detesado, ni deteriorarse durante estas operaciones. Tampoco sufrirán deterioros durante su manipulación, transporte y almacenaje.

En la recepción se permitirá una ligera capa de óxido en la superficie de los tirantes, si ésta se puede eliminar fácilmente y además la superficie es inmediatamente recubierta con una lechada de cemento. Estarán totalmente libres de corrosión cuando sean encapsulados para realizar el sistema de protección contra la corrosión.

La protección de la zona libre de un anclaje provisional (tipos 1, 2, 5 y 6), se podrá realizar en obra o en taller. La protección de la zona de bulbo de un anclaje provisional se realizara en general in situ. La protección del tirante de los anclajes permanentes se debe realizar en taller o en instalaciones construidas expresamente en la obra, libres de humedad y suciedad.

En todos los tipos de anclaje la inyección de la protección se iniciará por el fondo del anclaje, realizándose de forma continua hasta su finalización.

Si el ambiente es agresivo, se le aplicará inmediatamente una protección a la cabeza del anclaje, tanto si es provisional como si es definitivo.

Cuando se inyecte la cabeza, se utilizaran dos tubos, el inferior de inyección y el superior de retorno, para asegurar un relleno completo, sin aire ocluido.

Cuando se prevean comprobaciones de tensión, o retesados, el sistema de protección debe permitir el libre acceso al tirante.

En los anclajes permanentes (tipos 3, 4, 7 y 8), los elementos de la cabeza (placa, cuñas y demás elementos) se fabricarán en taller. Las piezas de acero estarán convenientemente protegidas.

DISEÑO DE LOS ANCLAJES 3

3.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de un anclaje requiere conocer en primer lugar el valor y dirección de los esfuerzos ejercidos por la estructura a anclar, denominadas cargas nominales (consideradas sin mayorar), para poder en segundo lugar dimensionar las diferentes partes del anclaje (tirante, longitud libre y longitud de bulbo).

El alcance de este documento se limita a la segunda de las fases anteriores. Será misión del Proyectista el considerar los estados límite para el cálculo de una estructura anclada. Serán de aplicación el Eurocódigo 1-parte 1-1 y el Eurocódigo 7-parte 1.

El proyecto de un anclaje requiere conocer el valor y dirección de los esfuerzos ejercidos por la estructura a anclar. En este sentido se estará a lo especificado al respecto en la *Guía de cimentaciones en obras de carretera*.

Los criterios generales sobre el tipo de anclaje a priori más apropiado en cada caso se han incluido en el apartado 2.1.

3.2. CRITERIOS DE ESTABILIDAD A CONSIDERAR

En las estructuras ancladas se deberán tener en cuenta dos aspectos:

- La estabilidad global de la zona en que se encuentra la estructura anclada.
- El comportamiento de cada uno de los elementos de los anclajes y sus efectos sobre el entorno más inmediato de los mismos (equilibrio local).

En la figura 3.1 se indican, a modo de ejemplo algunas de las posibles configuraciones de rotura a tener en cuenta.

3.2.1. EQUILIBRIO GLOBAL

Lo referente al equilibrio o estabilidad global se abordará de conformidad con lo especificado al respecto en la *Guía de cimentaciones en obras de carretera*.

3.2.2. EQUILIBRIO LOCAL

Se debe asegurar el **comportamiento individual** de cada componente de los anclajes, considerando:

- La rotura parcial de la cabeza del anclaje o de la estructura a anclar, por exceso de tensión en los anclajes, o por fallo de alguno de estos últimos.
- La rotura del tirante a tracción y el deslizamiento del mismo dentro del bulbo.
- La perdida de tensión en el anclaje por deslizamiento del bulbo contra el terreno.

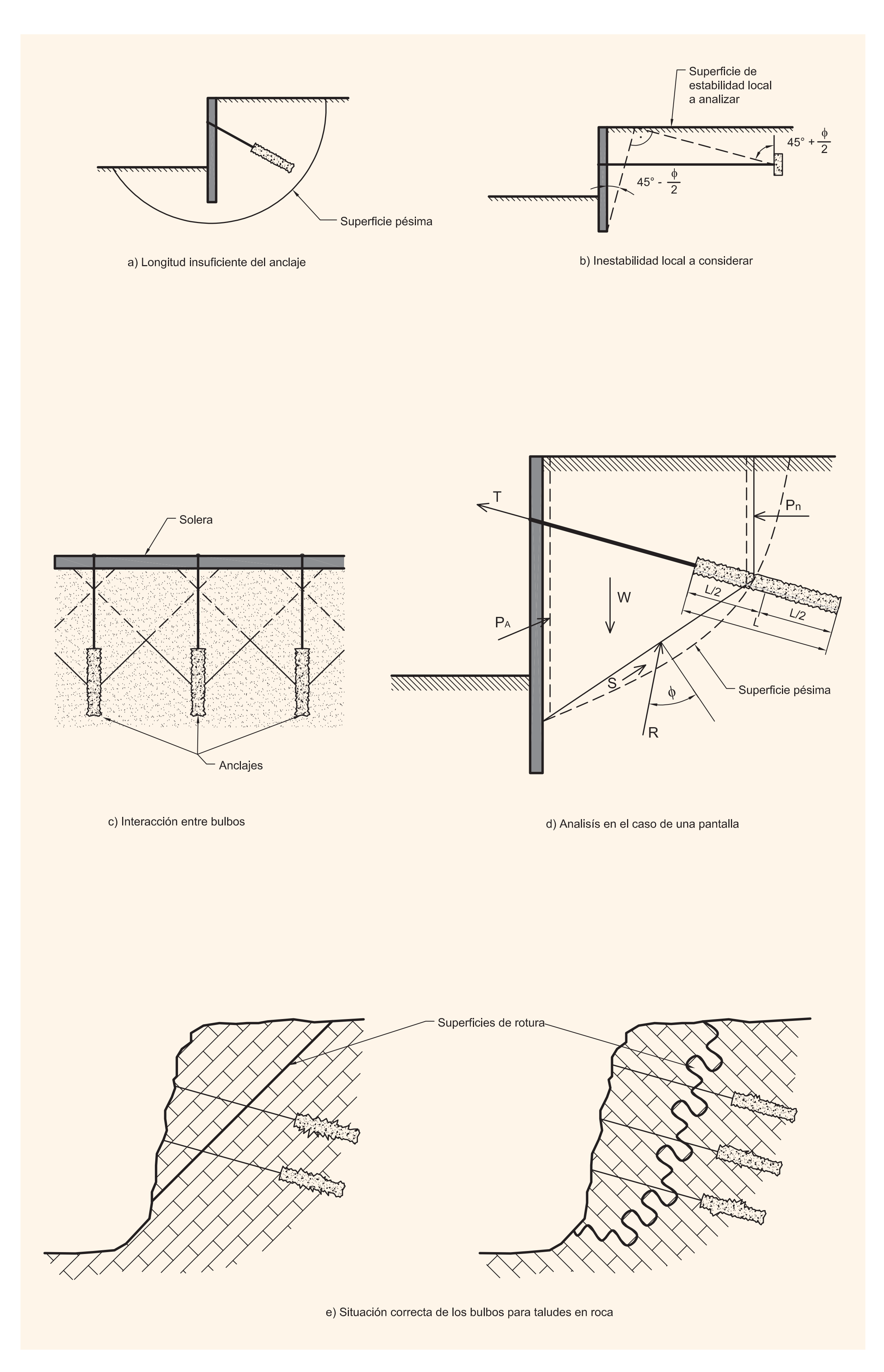


FIGURA 3.1. **EJEMPLOS DE SITUACIONES A CONSIDERAR**

3.2.2.1. Roturas en la cabeza o en la estructura a anclar

Se prestará atención al dimensionamiento y posición de la ***placa de reparto*** de la cabeza del anclaje, para evitar deformaciones excesivas de la misma, concentración de tensiones en la estructura a anclar, asentamientos inadmisibles del terreno de apoyo, levantamiento de cuñas pasivas y descensos de las cabezas, entre otros.

El ancho de la placa de reparto será al menos el doble del diámetro de la perforación realizada en la estructura a anclar, y en ningún caso inferior a 20 cm. Su espesor será el suficiente para que no se registren deformaciones apreciables durante el tesado y nunca menor de 1 cm.

Asimismo, y respecto a la disposición de elementos de protección en la cabeza, se estará además a lo especificado en el apartado 2.3.

3.2.2.2. Evaluación de la estabilidad del propio anclaje

La evaluación de la estabilidad del propio anclaje comprende los siguientes procesos:

1) Mayoración de las cargas actuantes.
2) Comprobación de la tensión admisible del acero del tirante (rotura del tirante a tracción).
3) Comprobación del deslizamiento del tirante dentro del bulbo.
4) Comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo (deslizamiento bulbo-terreno).

3.2.2.2.1. Mayoración de las cargas actuantes

Se obtendrá la ***carga nominal mayorada***, P_{Nd}, a través de la expresión:

$$P_{Nd} = F_1 \, P_N$$

Siendo:

P_N = carga nominal del anclaje, que es la mayor de:

a) la carga obtenida al realizar el cálculo de estabilidad global según se especifica en el epígrafe 3.2.1 de esta Guía.
b) la carga obtenida en el cálculo de los estados límite de servicio, sin mayoración alguna.

F_1 = coeficiente de mayoración que puede obtenerse de la tabla 3.1.

P_{Nd} = carga nominal mayorada del anclaje.

TABLA 3.1. COEFICIENTE F_1 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE

TIPO DE ANCLAJE	F_1
Permanente	1,50
Provisional	1,20

El Proyectista o el Director de las Obras podrán adoptar justificadamente coeficientes de mayoración superiores a los indicados en la tabla 3.1.

3.2.2.2.2. Comprobación de la tensión admisible del acero

Para la **comprobación de la tensión admisible del acero del tirante** se minorará la tensión admisible en el tirante de forma que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

En anclajes provisionales:

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{pk} / 1{,}25$$
$$P_{Nd} / A_T \leq f_{yk} / 1{,}10$$

en anclajes permanentes:

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{pk} / 1{,}30$$
$$P_{Nd} / A_T \leq f_{yk} / 1{,}15$$

Siendo: P_{Nd} = carga nominal mayorada de cada anclaje.
A_T = sección del tirante.
f_{pk} = límite de rotura del acero del tirante.
f_{yk} = límite elástico del acero del tirante.

3.2.2.2.3. Comprobación del deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo

Para la comprobación de la **seguridad frente al deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo** se minorará la adherencia límite entre el tirante y la lechada que lo rodea en el bulbo, por el coeficiente 1,2.

Se deberá verificar:

$$P_{Nd} / (L_b \,.\, p_T) \leq \tau_{lim} / 1{,}2$$

Con: $\tau_{lim} = 6{,}9\ (f_{ck}/22{,}5)^{2/3}$

Siendo: P_{Nd} = carga nominal mayorada de cada anclaje.
p_T = perímetro nominal del tirante = $2\sqrt{\pi \cdot A_T}$
A_T = sección del tirante.
L_b = longitud de cálculo del bulbo.
τ_{lim} = adherencia límite entre el tirante y la lechada expresada en MPa.
f_{ck} = resistencia característica (rotura a compresión a 28 días) de la lechada expresada en MPa.

Para esta comprobación, el exceso de longitud del bulbo por encima de 14 m se minorará por el coeficiente de 0,70, a fin de tener en cuenta la posible rotura progresiva del mismo.

3.2.2.2.4. Comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo

Para la comprobación de la **seguridad frente al arrancamiento del bulbo** se minorará la adherencia límite del terreno que rodea al bulbo del anclaje para obtener la adherencia admisible a_{adm}. Se comprobará:

$$P_{Nd} / (\pi \,.\, D_N \,.\, L_b) \leq a_{adm}$$

Siendo: P_{Nd} = carga nominal mayorada de cada anclaje.
D_N = diámetro nominal del bulbo.
L_b = longitud de cálculo del bulbo.
a_{adm} = adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno que rodea el bulbo.

La ***adherencia admisible del bulbo*** se puede obtener mediante los métodos indicados a continuación, por orden de preferencia:

a) Los valores de la adherencia admisible a_{adm} del bulbo se pueden deducir tanto de los ensayos de investigación como fundamentalmente de los ensayos de adecuación.

b) Se puede obtener el valor de la adherencia admisible aplicando la expresión siguiente, en presiones efectivas:

$$a_{adm} = \frac{c'}{F_{2c}} + \sigma' \cdot \frac{tg\ \varphi'}{F_{2\varphi}}$$

Siendo: c' = cohesión efectiva del terreno en el contacto terreno-bulbo.
φ' = ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno en el contacto terreno-bulbo.
σ' = presión efectiva del terreno en el centro del bulbo más una tercera parte de la presión de inyección aplicada.
F_{2c} = 1,60; coeficiente de minoración de la cohesión.
$F_{2\varphi}$ = 1,35; coeficiente de minoración de la fricción.

c) También puede determinarse a_{adm} utilizando correlaciones empíricas, en cuyo caso:

$$a_{adm} = a_{lim} / F_3$$

Siendo: a_{lim} = adherencia límite obtenida aplicando métodos empíricos (véanse figuras 3.2 a 3.5)
F_3 = coeficiente indicado en la tabla 3.2

TABLA 3.2. **COEFICIENTE F_3 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE**

TIPO DE ANCLAJE	F_3
Provisional	1,45
Permanente	1,65

Se incluyen cuatro ábacos (figuras 3.2, 3.3, 3.4, y 3.5) que relacionan algunos de los parámetros geotécnicos más representativos de cada tipo de terreno, con la adherencia límite en los mismos.

Cada ábaco incluye tres curvas, correspondientes a los tres tipos de anclajes considerados en este documento, según la forma de inyectar el bulbo (véase capítulo 2): inyección única global IU (tipos 1, 3, 5 y 7), inyección repetitiva IR (Tipos 2A, 4A, 6A y 8A), inyección repetitiva y selectiva IRS (Tipos 2B, 4B, 6B y 8B).

Cuando se trate de rocas poco alteradas, grado III ó menor según ISRM (véase apéndice B), y para anclajes con inyección única global IU, podrá considerarse la adherencia límite indicada en la tabla 3.3.

TABLA 3.3. **ADHERENCIA LÍMITE EN ROCA (ALTERACIÓN ≤ GRADO III, SEGÚN ISRM)**

TIPO DE ROCA	ADHERENCIA LÍMITE (MPa)
Granitos, basaltos, calizas	1,0 – 5,0
Areniscas, esquistos, pizarras	0,7 – 2,5

En ningún caso se podrá adoptar un valor de la adherencia admisible superior a los valores de adherencia límite señalados en las figuras 3.2 a 3.5 y en la tabla 3.3.

En las figuras 3.2 a 3.5 ya referidas, se indica una escala doble en abscisas, ha de entenderse que ello es una facilidad adicional para la obtención de la adherencia límite pero nunca una correlación entre las variables indicadas en abscisas.

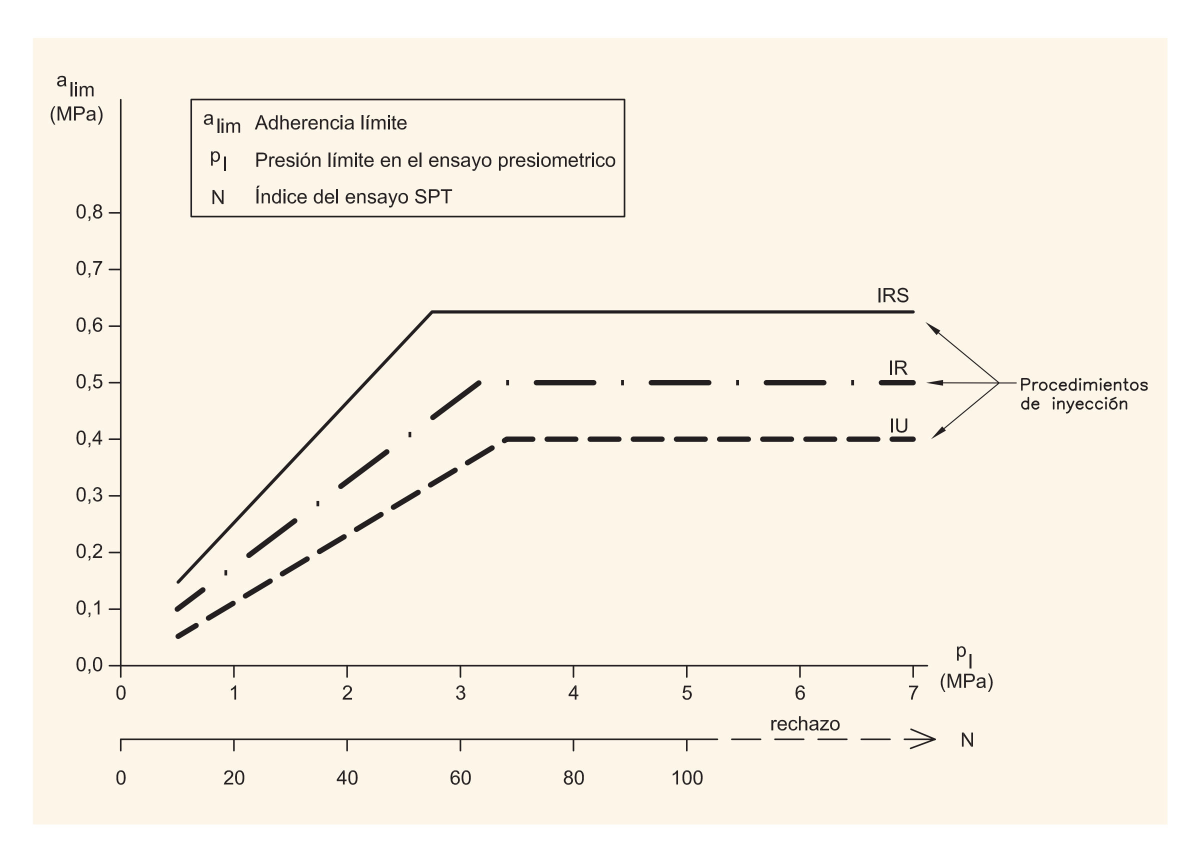


FIGURA 3.2. **ADHERENCIA LÍMITE EN ARENAS Y GRAVAS**

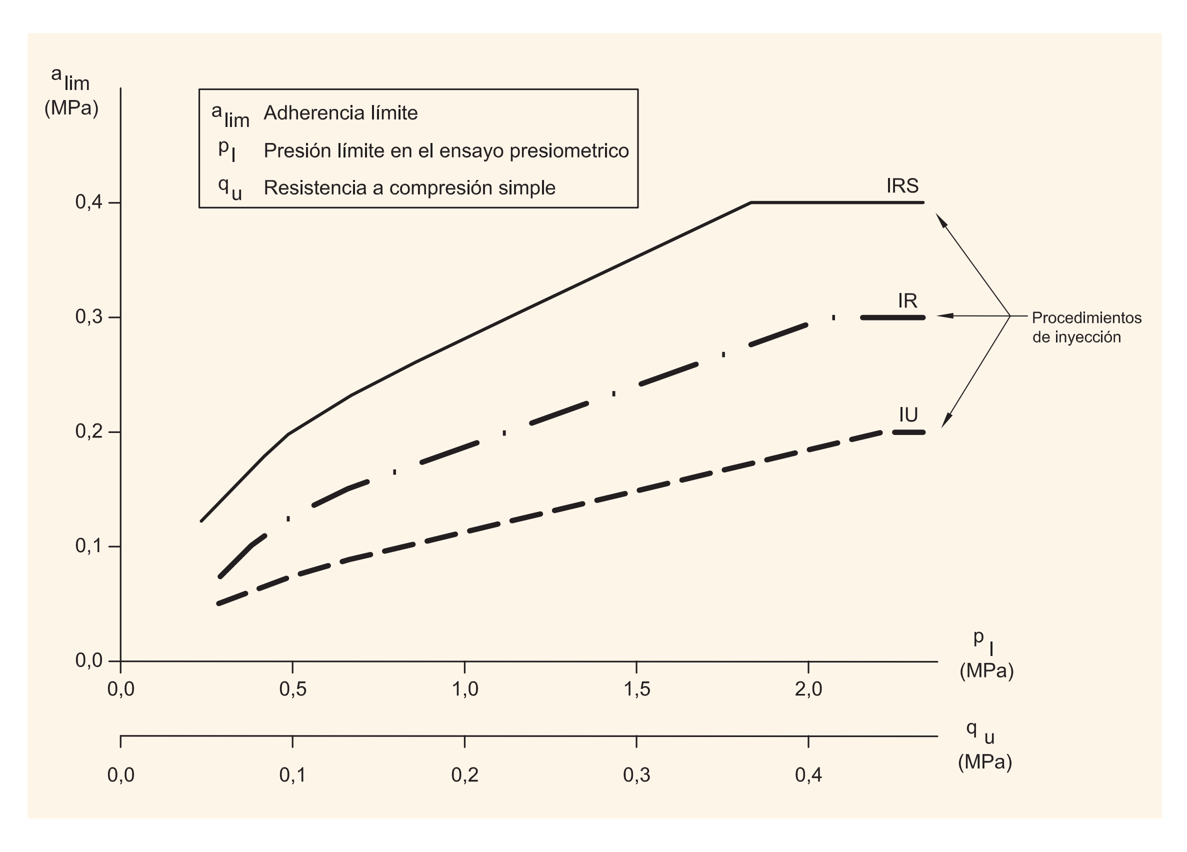


FIGURA 3.3. **ADHERENCIA LÍMITE EN ARCILLAS Y LIMOS**

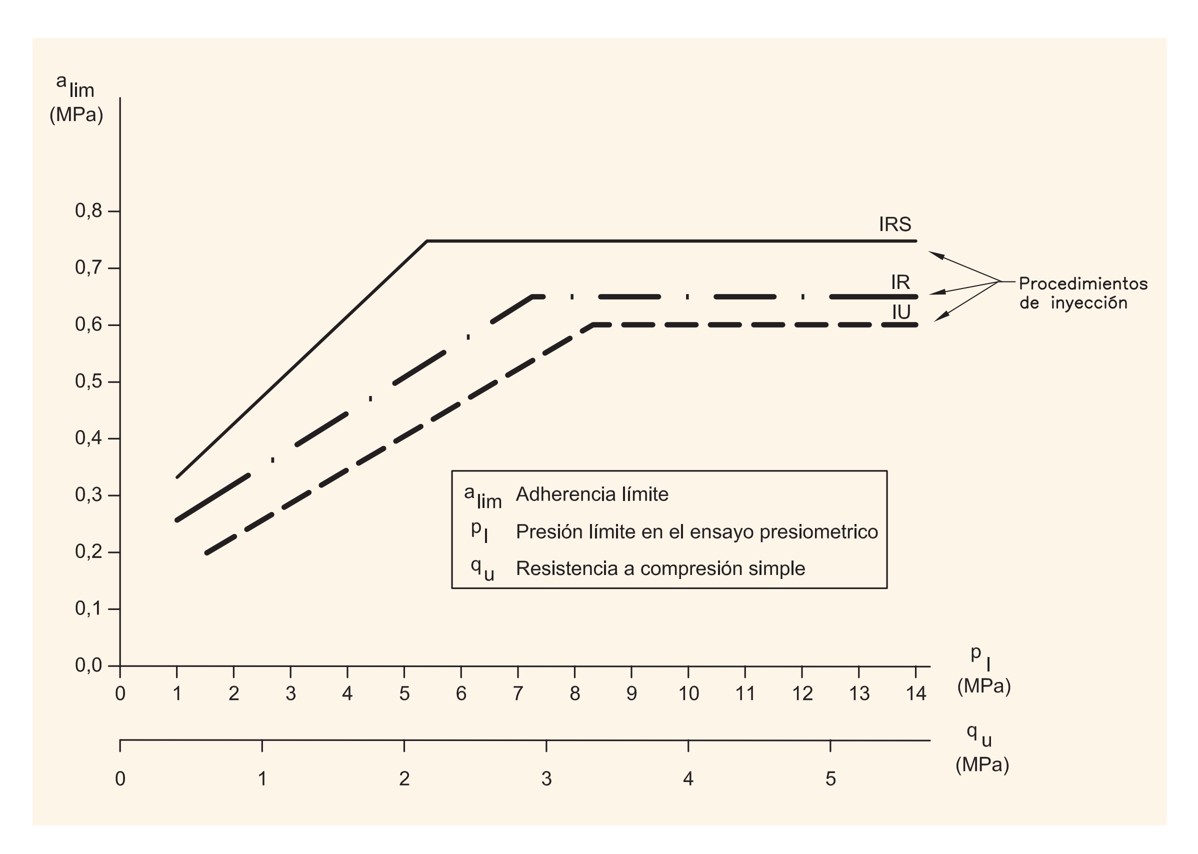


FIGURA 3.4. **ADHERENCIA LÍMITE EN MARGAS, MARGAS YESÍFERAS Y MARGAS CALCÁREAS**

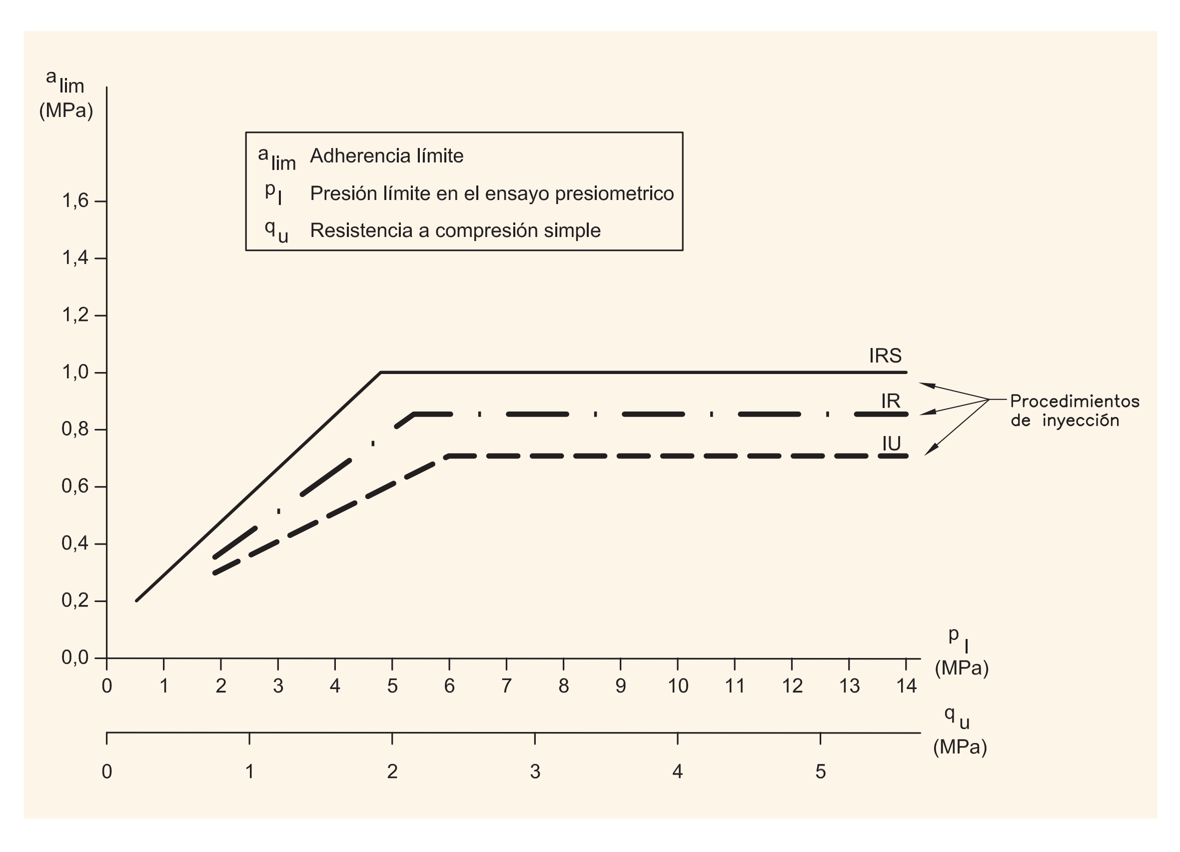


FIGURA 3.5. **ADHERENCIA LÍMITE EN ROCA ALTERADA (GRADO IV O SUPERIOR, SEGÚN ISRM)**

EJECUCIÓN DE LOS ANCLAJES 4

4.1. OPERACIONES

La ejecución de los anclajes comporta las siguientes operaciones:

a) Fabricación, transporte y almacenamiento de los tirantes.

b) Perforación de los taladros.

c) Instalación de los tirantes.

d) Inyección del anclaje.

e) Tesado del anclaje.

Estas operaciones se detallan a continuación.

En todo caso, en lo que sigue, se estará en primer lugar a lo especificado en el PG-3.

4.2. FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LOS TIRANTES

Durante su fabricación y almacenaje, los ***tirantes*** y el resto de componentes de los anclajes, deben conservarse limpios, sin rastros de corrosión ni daños mecánicos.

No deben retorcerse ni doblarse con radios inferiores a los indicados por el fabricante.

En los tirantes formados por cables engrasados, se otorgará especial importancia a la limpieza en la zona del bulbo. En caso de ser precisa la limpieza se efectuara con vapor o disolventes, siempre que éstos no sean agresivos a los componentes del anclaje.

Una vez fabricados los tirantes, con sus protecciones y elementos auxiliares, se almacenaran en lugar seco y limpio.

Durante el transporte se mantendrán análogas precauciones respecto a la limpieza, daños mecánicos y posible corrosión.

Al llegar a obra el Contratista deberá facilitar al Director de las Obras los correspondientes certificados de calidad de los aceros que componen los tirantes.

4.3. PERFORACIÓN DE LOS TALADROS

4.3.1. DIÁMETROS Y PROFUNDIDADES

Las perforaciones se efectuarán respetando los diámetros, profundidades y posiciones indicados en los planos del Proyecto salvo indicación expresa en contra del Director de las Obras.

El diámetro de perforación debe garantizar el recubrimiento mínimo de lechada todo a lo largo del anclaje. Se deben adoptar los diámetros mínimos indicados en las tablas 4.1 y 4.2.

La perforación de cada taladro deberá reflejarse en un parte que contenga el diámetro del mismo, tipo de terreno atravesado, sistema y parámetros de perforación, incidencias ocurridas, pérdidas de fluido, etc.

TABLA 4.1. **DIÁMETROS MÍNIMOS DE PERFORACIÓN PARA ANCLAJES DE CABLES**(*)

Nº DE CABLES	DIÁMETRO MÍNIMO EXTERIOR DE LA ENTUBACIÓN (mm)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA PERFORACIÓN NO ENTUBADA (mm)
TIPO 1. ANCLAJES PROVISIONALES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
2 a 5 cables	114	85
6 ó 7 cables	133	105
8 a 12 cables	152	125
TIPOS 2 A Y 2 B. ANCLAJES PROVISIONALES CON REINYECCIÓN (IR, IRS)		
2 ó 3 cables	114	85
4 ó 5 cables	133	105
6 a 10 cables	152	125
TIPOS 3 Y 4 A. ANCLAJES PERMANENTES SIN REINYECCIÓN SELECTIVA (IU, IR)		
2 a 4 cables	133	105
5 a 7 cables	152	125
7 a 12 cables	178	140
TIPO 4 B. ANCLAJES PERMANENTES CON REINYECCIÓN SELECTIVA (IRS)		
2 a 4 cables	152	125
5 a 7 cables	178	140
7 a 12 cables	200	165

(*) Se considera en todos los casos un diámetro de cable no mayor de 15,3 mm (0,6 pulgadas)

TABLA 4.2. **DIÁMETROS MÍNIMOS DE PERFORACIÓN PARA ANCLAJES DE BARRA**

DIÁMETRO DE LA BARRA (mm)	DIÁMETRO MÍNIMO EXTERIOR DE LA ENTUBACIÓN (mm) (**)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA PERFORACIÓN NO ENTUBADA (mm)
TIPO 5. ANCLAJES PROVISIONALES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
$\phi \leq 25$	90	68
$25 < \phi \leq 40$	101	85
TIPO 7. ANCLAJES PERMANENTES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
$\phi \leq 25$	114	85
$25 < \phi \leq 40$	133	105
TIPOS 6 A, 6 B, 8 A Y 8 B. ANCLAJES CON REINYECCIÓN (IR, IRS)		
$\phi \leq 20$	133	105
$20 < \phi \leq 25$	152	114
$25 < \phi \leq 40$	178	133

(**) Siempre que no existan empalmes en la barra

4.3.2. TOLERANCIAS

Salvo especificación contraria, el equipo de perforación realizara los taladros con las siguientes ***tolerancias***:

a) El eje de la boca de la perforación no estará desplazado en planta, respecto a lo establecido en los planos, mas de 50 mm, a comprobar incluso con cinta métrica. Esta comprobación se efectuará en todos y cada uno de los taladros.

b) Respecto a la posición inicial, el taladro no se desviara mas de dos grados sexagesimales (2º), comprobándose con clinómetro o con una escuadra graduada en milímetros y su equivalencia en inclinación. Se efectuará en al menos un 10% de los taladros y en no menos de tres de ellos.

c) Respecto al diámetro nominal del bulbo previsto en Proyecto, la posible reducción no será superior a 2 mm, a comprobar midiendo el útil de perforación con calibre. Se comprobará cada vez que se cambie el útil de perforación, se observe un desgaste apreciable, y en no menos del 10% de los casos.

d) Finalmente la longitud de perforación no se desviará en más de 0,20 m, a comprobar midiendo la longitud total de los útiles de perforación empleados incluso con cinta métrica. Esta comprobación de efectuará en al menos el 10% de los taladros y en no menos de tres.

Los sistemas de medida a utilizar en las comprobaciones anteriores no deberán tener errores totales mayores del 2% (precisión = 2%).

4.3.3. SISTEMAS DE PERFORACIÓN

Se debe elegir el **sistema de perforación** más adecuado –en función del tipo de terreno–, de cara a la movilización de la resistencia del anclaje.

Los fluidos de perforación no serán nocivos a los tirantes, a las lechadas ni a las protecciones.

Se preverán con antelación las técnicas necesarias para contrarrestar la presión del agua y los desmoronamientos bruscos de los taladros, tanto durante la propia perforación como durante la colocación de los tirantes y la realización de la inyección. Se tomarán precauciones especiales al atravesar niveles artesianos para evitar la salida de agua con arrastres de terreno.

El proceso de perforación deberá efectuarse de forma que cualquier variación significativa del terreno respecto a las características especificadas en el Proyecto, sea detectada inmediatamente.

4.4. INSTALACIÓN DE LOS TIRANTES

Durante la manipulación y colocación de los tirantes se tendrá especial cuidado en no deformarlos, ni dañar sus componentes, ni la protección anticorrosión. Antes de su instalación se comprobará visualmente su integridad y se dejará constancia escrita del resultado de la misma.

Antes de proceder a la colocación del tirante, se comprobará la perforación, de forma que se encuentre libre de obstáculos. La colocación se efectuará de forma controlada para no alterar la posición de ningún elemento del tirante.

El tiempo entre la instalación del tirante y la inyección del anclaje debe ser el menor posible.

Los ***centradores*** se dispondrán de manera solidaria con el tirante y garantizarán el recubrimiento mínimo. Su numero dependerá de la rigidez y peso del tirante y su separación no será superior a los 3 m, situando al menos dos de ellos en la zona de bulbo.

4.5. INYECCIÓN DEL ANCLAJE

4.5.1. OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de la inyección son los siguientes:

a) Constituir la zona de bulbo del anclaje.

b) Proteger el tirante frente a la corrosión.

4.5.2. PROCESO DE INYECCIÓN

La ***inyección*** del anclaje se realizara lo antes posible después de efectuada la perforación.

La ***inyección única global (IU)*** se efectuará de fondo a boca de la perforación, excepto en los anclajes ascendentes en que deberá hacerse al revés con tubo de purga hasta el fondo del taladro, manteniéndose de una forma ininterrumpida hasta que la lechada que rebose por la boca, o por el tubo de purga, sea de las mismas características (en cuanto a color y consistencia) que la inyectada inicialmente. La salida del útil de inyección debe permanecer continuamente sumergida en la lechada.

En la composición de las lechadas se emplearán cementos de clase 42,5 o superiores.

Las dosificaciones habituales de las inyecciones de lechada de cemento (relación agua/cemento) oscilan entre 0,4 y 0,6, para inyecciones en una sola fase (IU).

Cuando se realizan inyecciones en varias fases (tipos IR o IRS), las dosificaciones deben oscilar entre 0,9 y 1,2.

La densidad aparente de las lechadas líquidas se comprobará antes de su inyección, en cualquier caso será superior a 1500 kg/m^3. Precisamente, uno de los objetivos de los ensayos de investigación es el de fijar estos parámetros en la lechada.

El proceso de inyección y la configuración de los tirantes, deben garantizar el libre alargamiento en la denominada zona libre, así como que no se transmita la fuerza entre terreno y anclaje más que en la zona del bulbo.

Hasta que la inyección no alcance la resistencia de proyecto, no se podrá tesar el anclaje. Sin acelerantes este periodo será de al menos 7 días.

4.5.3. INYECCIÓN PREVIA

Si las ***pérdidas*** de inyección son elevadas (entendiéndose como tales cuando son superiores a tres veces el volumen teórico a baja presión) y para garantizar la correcta ejecución del bulbo, antes de procederse a la inyección o reinyecciones se debe analizar lo reflejado en el parte de perforación y observado durante la misma, efectuando en caso necesario una inyección previa.

En el ***análisis de la perforación*** se tendrá en cuenta la magnitud de las perdidas de fluido detectadas y sus posibles causas. Se puede efectuar una prueba de inyección de agua bajo carga variable en rocas, una prueba de perdida de lechada sin presión (rellenando continuamente el taladro), o inyecciones a presión (midiendo las perdidas en la zona de bulbo, con obturadores y tubos manguito).

La ***inyección previa*** se efectúa rellenando todo el taladro con una lechada o mortero de cemento. Puede que haya de realizarse varias veces, en función de la permeabilidad del terreno. Después de cada inyección se comprobará el estado del taladro.

4.5.4. REINYECCIONES

Se distinguen dos tipos de reinyecciones:

a) ***Inyección repetitiva (IR)***: Es la efectuada normalmente a través de latiguillos, o con un circuito global con válvulas antirretorno en el bulbo, con un número de reinyecciones generalmente no superior a dos. Al final de la última fase de inyección, la presión medida en la boca del taladro no será inferior a la mitad de la presión límite del terreno y nunca inferior a 0,5 MPa. (Anclajes tipo 2A, 4A, 6A y 8A)

La figura 2.4 esquematiza el procedimiento de inyección repetitiva

b) ***Inyección repetitiva y selectiva (IRS)***: Es la efectuada normalmente a través de tubos manguito con válvulas separadas no más de 1 m, y con un número de reinyecciones en cada manguito generalmente superior a dos.

Al final del último episodio de inyección de cada manguito, la presión medida en la boca del taladro no será inferior a la presión límite del terreno, y nunca inferior a 1 MPa. Permiten realizar inyecciones de zonas concretas del bulbo, controlando la presión y la admisión. (Anclajes tipos 2B, 4B, 6B y 8B)

En general la eficacia de las reinyecciones disminuye a medida que el terreno presenta mejores características geotécnicas.

La figura 2.5 esquematiza el procedimiento de inyección repetitiva y selectiva.

4.6. TESADO DEL ANCLAJE

El tesado del anclaje del anclaje debe efectuarlo personal especializado, con experiencia en este tipo de trabajos.

El ***calibrado*** de los equipos utilizados debe ser al menos anual, con los certificados a disposición del Director de las Obras.

En los ensayos de los anclajes (Apartados 5.2, 5.3 y 5.4) el tesado se efectuará traccionando todos los cables del tirante simultáneamente.

La secuencia de tesado, los escalones de carga y los métodos de tesado, en caso de no venir definidos en el Proyecto, deberán ser presentados por el Contratista al Director de las Obras para su aprobación, el cuál podrá efectuar modificaciones de acuerdo con los resultados de los ensayos aludidos anteriormente.

El tesado de cada anclaje se deberá efectuar preferiblemente en una sola operación.

Se procurará que el orden de tesado de los anclajes sea tal que se vayan poniendo en carga de forma alterna, para evitar la concentración excesiva de carga en la viga de reparto o en la estructura anclada.

También se tendrá en cuenta la rigidez y la resistencia a flexión de vigas y estructuras para evitar que se produzcan esfuerzos de flexión como consecuencia de la aplicación de cargas concentradas excesivas, fundamentalmente en el caso de anclajes de alta carga nominal.

Por ello la viga de reparto o la propia estructura a anclar no deberán experimentar, con las cargas nominales concentradas, distorsiones angulares superiores a 1/750.

En caso de no cumplirse esta condición se podrá iniciar el proceso de entrada en carga por fases, aplicando en cada una de ellas, a todos los anclajes, fracciones de la máxima a alcanzar.

4.7. ACABADOS

Una vez concluido el anclaje se debe proceder en el plazo más breve posible al corte de las longitudes sobrantes de los tirantes y a la colocación de las protecciones de las cabezas de los anclajes.

La operación de ***corte de las longitudes sobrantes*** de los tirantes, se realizará con disco, quedando prohibido el empleo de sopletes.

La longitud mínima sobrante, en la parte externa de las cuñas o tuercas, será de unos 5 cm en anclajes no retesables y de unos 60 cm en los retesables, para permitir la ubicación del gato de tesado.

A continuación se procederá a la colocación de la protección de las cabezas, de acuerdo con los sistemas indicados en las tablas 2.2 y 2.3.

4.8. PROTOCOLO Y PARTES DE TRABAJO

El Contratista, antes de empezar la obra, deberá presentar para su aprobación por el Director de las Obras un ***protocolo*** indicando como pretende realizar los anclajes. Dicho protocolo incluirá para cada anclaje, al menos los siguientes aspectos:

a) Nombre de la obra e identificación precisa de cada tajo.

b) Numeración de los anclajes sobre un plano.

c) Sistema de perforación.

d) Diámetro del bulbo y diámetro de la perforación.

e) Longitud de la zona libre y del bulbo

f) Inclinación, con respecto a la horizontal.

g) Procedimientos de inyección (IU, IR, IRS), con un número mínimo de reinyecciones y la presión límite del terreno (volúmenes, caudales y presiones de inyección).

h) Tipos de protección contra la corrosión y ensayos de resistencia eléctrica, si se estiman necesarios.

i) Datos del tirante empleado: tipo de tirante (de cables o barra indicando en todo caso diámetro, número de elementos utilizados, etc) y calidad del mismo.

j) Características de la lechada (tipo de aglomerante, dosificación de la mezcla y densidad prevista), ensayos previos en laboratorio (viscosidad, resistencia a compresión simple a 7 y 28 días, decantación, expansión o retracción y densidad) y ensayos de control durante la inyección (viscosidad y densidad).

k) Ensayos de investigación, adecuación y aceptación previstos.

Además, para cada anclaje, se realizará un ***parte de trabajo de instalación*** que incluirá, al menos, la siguiente información para cada uno de los anclajes, y que se redactará a partir de lo realmente ejecutado en obra.

a) Nombre de la obra.

b) Persona responsable de cada operación y equipos de perforación e inyección.

c) Número del anclaje referido a planos.

d) Datos de la perforación: longitudes, inclinación, tipo de avance (rotación o percusión), diámetro, fecha de inicio y terminación, así como descripción cualitativa del terreno y su dureza.

e) Datos del tirante: tipo de tirante y longitudes libre y del bulbo, etc.

f) Datos de la inyección: fechas de inyección y reinyecciones, presiones de inyección, cantidades inyectadas, dosificación, densidad y viscosidad de la lechada, si se mide.

g) Incidencias de cualquier tipo, acaecidas durante la realización de los trabajos.

h) Conformidad sobre el estado del taladro y del tirante en el momento de su instalación

También se realizará, por cada anclaje, un ***parte de trabajo de control de tesado,*** que incluirá:

a) Nombre de la obra.

b) Número del anclaje referido al mismo plano que el parte inmediatamente anterior.

c) Fechas de perforación, inyección y tesado.

d) Carga nominal alcanzada.

e) Carga de tesado.

f) Escalones de carga y alargamientos (en caso de medirse).

g) Incidencias de cualquier tipo acaecidas en el proceso de tesado (fisuraciones o deformaciones excesivas en zonas próximas a la cabeza del anclaje, etc.) y fecha de realización de las operaciones citadas.

h) Colocación de aparatos de control o auscultación en los anclajes, su identificación y lecturas iniciales, en su caso

PRUEBAS Y ENSAYOS. SEGUIMIENTO Y CONTROL 5

5.1. TIPOLOGÍA

Se consideran fundamentalmente tres tipos de ensayos para los anclajes:

- Ensayos de investigación.
- Ensayos de adecuación o idoneidad.
- Ensayos de aceptación.

Los dos primeros están incluidos dentro de la categoría de ensayos de conformidad.

Los **ensayos de investigación** tienen por objeto determinar, antes de ejecutar los anclajes de la obra, los siguientes aspectos:

a) La resistencia del bulbo del anclaje en la interfaz lechada-terreno.
b) La carga de deslizamiento del anclaje.
c) La curva de deformación del anclaje bajo diferentes cargas, hasta rotura.
d) Las pérdidas de tensión del anclaje bajo carga de servicio.
e) La longitud libre aparente.

Los **ensayos de adecuación, idoneidad o control**, deberán realizarse una vez interpretados los de investigación, sobre anclajes ejecutados con las mismas condiciones que los de las obras, tienen por objeto confirmar:

a) La capacidad del tirante frente a una tracción o carga de prueba.
b) La curva de deformación del anclaje bajo diferentes cargas, hasta la de prueba.
c) Las pérdidas de tensión del anclaje hasta la carga de prueba.
d) La longitud libre aparente.

Finalmente los **ensayos de aceptación o de recepción** tienen por objeto confirmar para cada anclaje:

a) La capacidad del tirante frente a la tracción o carga de prueba.
b) La perdida de tensión bajo carga de servicio.
c) La longitud libre equivalente.

El seguimiento y la evaluación de todos los ensayos debe ser efectuado por personal competente especializado en técnicas de anclajes.

Las medidas de los alargamientos se efectuarán respecto a una base fija, suficientemente alejada del punto en cuestión, para los ensayos de investigación y adecuación. En los ensayos de aceptación bastará con medir el desplazamiento del émbolo del gato de tesado.

En los ensayos de investigación y adecuación el equipo de medida tendrá una sensibilidad mínima de 0,01 mm y la precisión de las medidas será de al menos 0,05 mm. En los ensayos de aceptación bastará con una precisión en las medidas de 0,5 mm.

La precisión de las medidas de tracción será de al menos el 2% de la tensión máxima aplicada en cada ensayo. Los equipos de medida tendrán una sensibilidad mínima del 0,5% de la tensión de prueba.

La tensión de referencia, salvo indicación en contra, será el 10% de la tensión de prueba.

5.2. ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN

Los **ensayos de investigación**, o de **comprobación de diseño**, se realizarán previamente a la ejecución de los anclajes. Tienen por objeto obtener al menos los siguientes valores:

a) La resistencia del bulbo del anclaje en la interfaz lechada-terreno
b) La carga de deslizamiento del anclaje.
c) La curva de deformación del anclaje bajo diferentes cargas, hasta rotura.
d) Las pérdidas de tensión del anclaje bajo carga de servicio.
e) La longitud libre aparente

Es conveniente efectuarlos en terrenos no ensayados o con cargas más elevadas de las habitualmente usadas.

Como generalmente los anclajes son sometidos en este tipo de ensayos a cargas mayores que las de servicio, conviene aumentar la capacidad de los tirantes. El resto de los elementos serán idénticos al resto de los anclajes. Si no es posible aumentar la capacidad del tirante, se podrá reducir la longitud de bulbo para lograr el arrancamiento (en estos casos no hay que esperar un aumento proporcional de la capacidad).

Si se aumenta el diámetro los resultados no son extrapolables a los anclajes en servicio.

El ensayo se llevara a cabo hasta la carga de rotura por arrancamiento del bulbo, o hasta una presión de prueba definida en la norma de ensayo.

5.3. ENSAYOS DE ADECUACIÓN

Antes de efectuar los **ensayos de adecuación, idoneidad o control**, se deberán evaluar los resultados de los ensayos de investigación.

Estos ensayos deberán realizarse sobre anclajes ejecutados con las mismas condiciones que los de la obra.

Tienen por objeto confirmar:

a) La capacidad del tirante frente a una tracción o carga de prueba.
b) La curva de deformación del anclaje bajo diferentes cargas, hasta la de prueba.
c) Las pérdidas de tensión del anclaje hasta la carga de prueba
d) La longitud libre aparente.

Así pues estos ensayos confirmarán si los alargamientos y perdidas de carga son correctos para las cargas de prueba de los futuros ensayos de aceptación o recepción y permitirán determinar la longitud libre aparente del anclaje.

Se deben realizar al menos 3 ensayos sobre anclajes de las mismas características que los de la obra. Se recomienda un numero de ensayos no inferior al 3% del número total de anclajes.

5.4. ENSAYOS DE ACEPTACIÓN

Cada anclaje será sometido a un **ensayo de aceptación o recepción** durante su tesado.

Los objetivos de estos ensayos son:

a) Demostrar que la carga de prueba es soportada por el anclaje.
b) Determinar la longitud libre aparente de la armadura.
c) Asegurar que la carga de bloqueo (carga real) es similar a la carga de proyecto (carga prevista).
d) Confirmar las características de fluencia o las perdidas de tensión bajo carga de servicio.

5.5. MÉTODOS DE ENSAYO

El artículo 675 *Anclajes* del PG-3, contempla dos métodos para la realización de estos ensayos, el método de los ciclos NLT-257 y el método de las fases NLT-258. Los mismos se incluyen como Apéndice C del presente documento.

A continuación se presenta una breve explicación conceptual de dichas normas.

5.5.1. MÉTODO DE LOS CICLOS INCREMENTALES DE CARGA CON CONTROL DEL DESPLAZAMIENTO DE LA CABEZA POR FLUENCIA (NLT-257)

Este método consiste en la medida del desplazamiento de la cabeza del anclaje durante un periodo de tiempo dado para la carga máxima de cada ciclo incremental.

Se somete al anclaje a incrementos de carga por ciclos, desde la tensión de referencia hasta la máxima del ensayo, midiéndose los alargamientos en un periodo de tiempo especificado en cada caso, para las cargas máximas de cada ciclo, según se indica en la figura 5.1.

La carga de prueba, el número de ciclos, la duración del ensayo, la carga máxima por ciclo y los criterios de conformidad ser recogen en la norma para cada tipo de ensayo, investigación, adecuación o aceptación (Apéndice C).

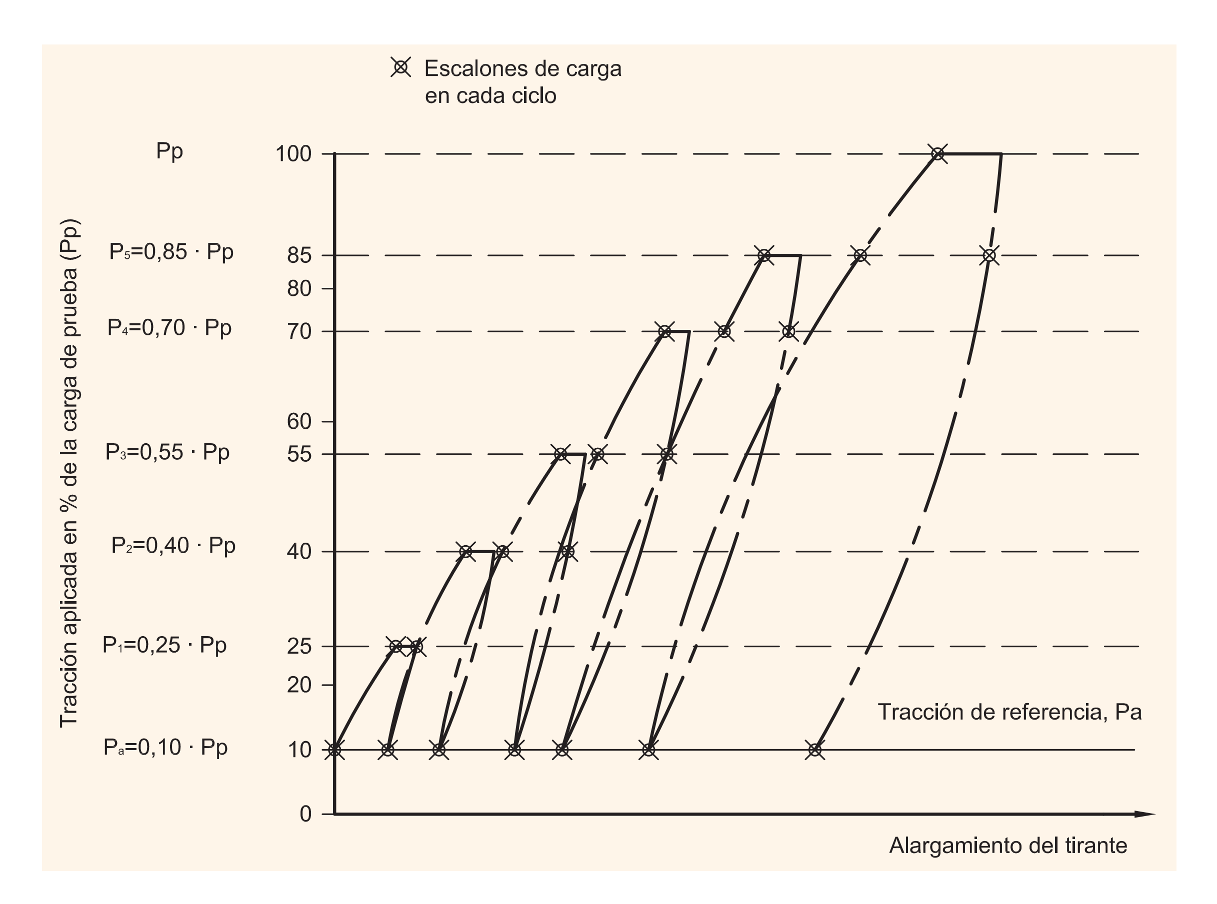


FIGURA 5.1. **MÉTODO DE LOS CICLOS INCREMENTALES DE CARGA**

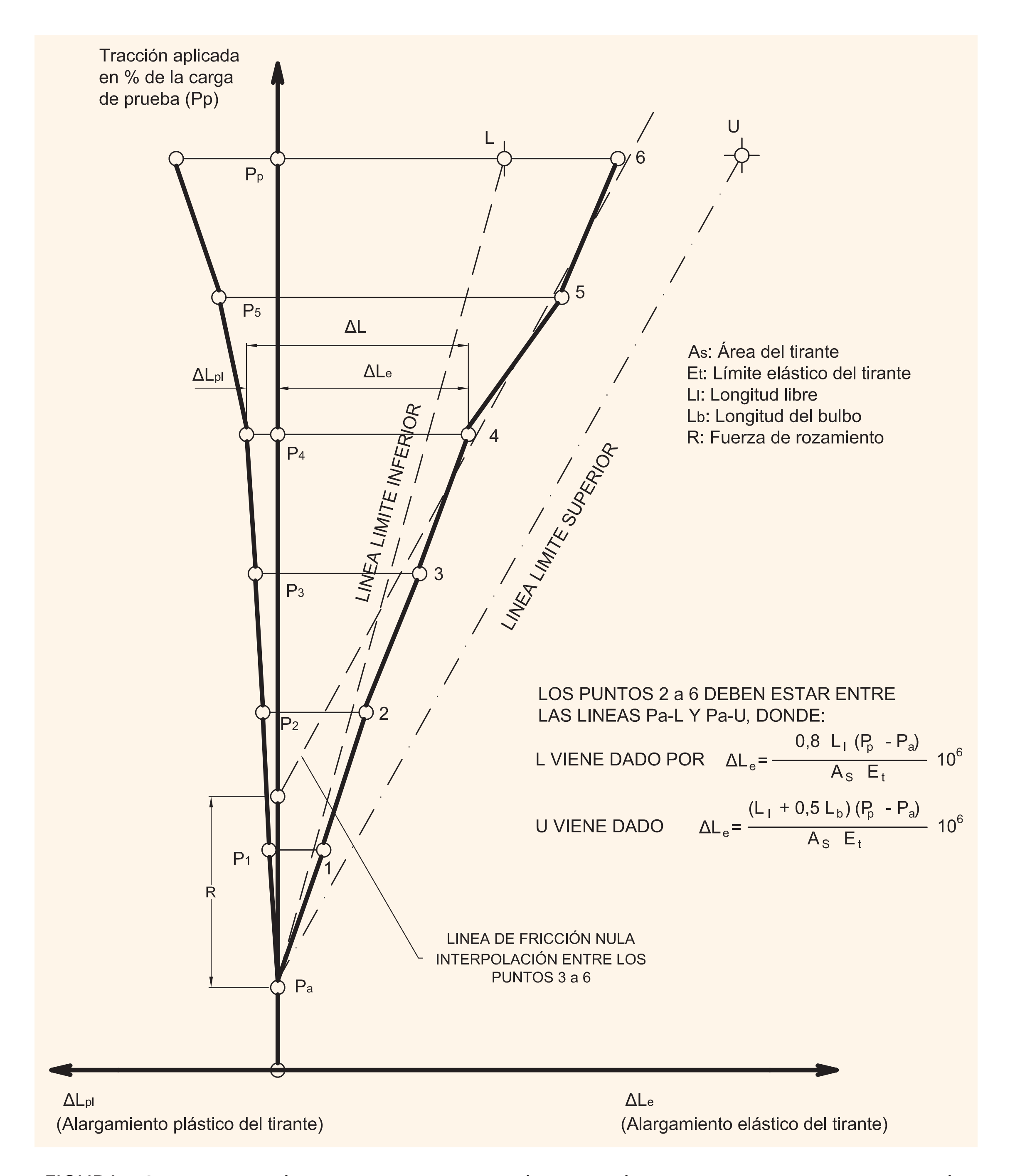


FIGURA 5.2. **DETERMINACIÓN DE LAS COMPONENTES ELÁSTICA Y PLÁSTICA EN EL ENSAYO DE TESADO, SEGÚN MÉTODO DE LOS CICLOS INCREMENTALES DE CARGA**

La determinación de las componentes elástica y plástica de cada escalón de carga se esquematiza en la figura 5.2, que al mismo tiempo permite comprobar que la longitud libre se encuentra dentro de los límites adecuados.

5.5.2. Método de las fases incrementales de carga con control del desplazamiento de la cabeza por fluencia (NLT-258)

Se procede a la carga del anclaje en fases incrementales desde una tracción de referencia hasta la máxima de ensayo. Se determina el desplazamiento en la cabeza del anclaje bajo carga mantenida en cada una de las fases.

La carga de prueba, el número de ciclos, la duración del ensayo en cada fase, la carga máxima por fase y los criterios de conformidad para cada tipo de ensayo, investigación, adecuación o aceptación, se especifican en el texto de la norma, (Apéndice C)

5.6. CARGAS MÁXIMAS A APLICAR

La resistencia de cálculo de un anclaje sometido a esfuerzos de tracción es el valor más pequeño de la capacidad externa o interna del mismo, dividida por un coeficiente no menor de 1,35, producto del correspondiente coeficiente de mayoración de la carga por el de minoración de las características resistentes conforme al apartado 3.2.

Se denomina capacidad externa de un anclaje a la carga de valor constante, a partir de la cual se produce el deslizamiento continuo del bulbo.

Se denomina capacidad interna a la carga correspondiente al límite de rotura del tirante del anclaje.

Es conveniente que la capacidad interna sea mayor que la externa. Asimismo los anclajes se deben proyectar para que la resistencia a la rotura de sus cabezas sea superior a ambos valores de la capacidad.

5.7. COMPROBACIÓN DE LA LONGITUD LIBRE EQUIVALENTE

Cuando no se hubieran empleado los procedimientos del apartado 5.5, se puede determinar la **longitud libre equivalente**, midiendo el desplazamiento del punto de fijación del gato con el tirante en un ensayo de **aceptación**.

El valor obtenido debe estar, aplicando las leyes de la elasticidad, entre los alargamientos elásticos correspondientes a estas dos longitudes:

a) Limite superior: el mayor de los valores siguientes:

   Le = Ll + 0,50 Lb
   Le = 1,10 Ll

b) Limite inferior:

   Le = 0,80 Ll

   Siendo: Ll = Longitud libre.
   Lb = Longitud del bulbo
   Le = Longitud libre equivalente.

En los casos en los que la longitud libre equivalente así deducida se encuentre fuera de los límites indicados, se puede someter al anclaje a ciclos de carga de servicio. Si el comportamiento es satisfactorio, según la condición anterior, se podrá dar por valido el anclaje.

MEDICIÓN Y ABONO 6

Antes del inicio de los trabajo se deberán estar definidos al menos los siguientes aspectos:

a) Número, longitudes, posición de los anclajes y definición en planos de los mismos.
b) Carga de tesado del anclaje.
c) Tipo de anclaje: Provisional o permanente, retesable o no retesable, de cable o barra.
d) Tipo de perforación: diámetro, rotación o rotopercusión, en seco o con agua o aire, entubada o no, etc.
e) Tipo de inyección: única global (IU), repetitiva (IR) o repetitiva y selectiva (IRS).
f) Volumen normal de lechada a inyectar.
g) Ensayos previstos de investigación y adecuación.

Los anclajes se abonarán teniendo en cuenta estas características y sus longitudes total y de bulbo.

Se incluye a título **meramente orientativo** un posible cuadro de precios:

1) Metro de anclaje tipo X (según la clasificación del apartado 2.1) probado y aceptado, incluyendo emplazamientos, perforación, suministro y colocación del tirante, inyección y material auxiliar (centradores, separadores, tubos, etc.).

   Para la determinación de este precio, podrán tenerse en cuenta factores como la carga total del anclaje, la condición de provisional o permanente del mismo, las características de abrasividad del terreno, la necesidad de revestimiento de la perforación, el límite elástico del tirante, el procedimiento de inyección, etc.

2) Unidad de parte fija del anclaje tipo X (según la clasificación del apartado 2.1), incluyendo eliminación de longitud de tirante sobrante, cabeza de anclaje y tesado con ensayo de aceptación, sellado, impermeabilización y cualquier operación necesaria para la puesta en servicio, excepto las indicadas en la presente relación.

   Para la determinación de este precio podrán tenerse en cuenta factores como la condición de provisional o permanente del mismo, o su carácter de retesable o no, entre otros.

3) Partida alzada a justificar para ensayos de investigación y adecuación, así como en su caso destesados y retesado, excepto ensayo de aceptación y primer tesado.

4) Suplemento por tonelada de cemento en exceso de inyección sobre el 125% del volumen normal[1]. (Se indicará el tipo de anclaje según la clasificación del apartado 2.1).

5) Unidad de célula de presión y otros sistemas de auscultación, incluidas colocación y primera lectura. Se excluyen expresamente los ensayos de investigación, adecuación y aceptación.

Se consideran incluidos en estos precios tipo los gastos indirectos, los derivados de los controles de ejecución y de inspección hasta la recepción de la obra.

[1] Ver definición de *volumen normal* en apartado 1.2

BIBLIOGRAFÍA 7

Asociación Técnica Española del Pretensado. Instituto Eduardo Torroja. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (1996): HP 8-96 *Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno*.

British Standard Institution: BS 8081 *Code of Practice for Ground Anchorages.*

Comité Europeo de Normalización: EN 1537 *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes.*

Deutsches Institut für Normrung: DIN 4125 *Ground Anchorages. Design, Construction and Testing.*

Dirección General de Carreteras: *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes* (PG-3):

- Orden FOM 475/2002 de 13 de febrero (BOE de 6 de marzo de 2002), por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a hormigones y aceros.
- Orden FOM 1382/2002 de 16 de mayo (BOE de 11 de junio y corrección de erratas en BOE del 26 de noviembre de 2002), por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones.

Dirección General de Carreteras (2003): *Guía de cimentaciones en obras de carretera*.

Federal Highway Administration (1999): FHWA-IF 99 015 *Ground Anchors and Anchored Systems.*

Le Bureau Securitas: TA 96 *Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contröle des tirants d'ancrage.*

Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes: SIA 191 *Tirants d'ancrage.*

8.1. APÉNDICE A: PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO

Se trata de medir la resistencia eléctrica entre el conjunto de elementos a tracción, el terreno y la estructura anclada, o bien el aislamiento de la cabeza del anclaje respecto a la estructura anclada.

La norma UNE EN 1537 especifica dos procedimientos de medida.

8.1.1. PROCEDIMIENTO ERM I

Mide el aislamiento del anclaje con relación al suelo y a la estructura anclada.

Para la medida se aplicará una diferencia de potencial de 500 voltios (V) de corriente continua, se utilizará un equipo de medición de aislamiento con un rango superior a 0,1 megaohmios (MΩ).

Se conectará el anclaje al polo positivo de la fuente y la toma de tierra al polo negativo. Como toma de tierra se emplearán piezas metálicas hincadas en el terreno, o bien, se utilizarán las armaduras de la estructura que estén en contacto con el terreno.

Las zonas de contacto de los electrodos estarán perfectamente limpias, deberán presentar brillo metálico.

El ensayo suele realizarse en dos fases, en la primera de las cuáles se determina –antes del bloqueo del tirante– la integridad de la funda de plástico y en la segunda –posterior al bloqueo– el aislamiento eléctrico total del tirante respecto al suelo y la estructura anclada.

La resistencia eléctrica debe ser, en ambas fases, superior a 0,1 megaohmios ($R_I \geq 0,1$ MΩ).

8.1.2. PROCEDIMIENTO ERM II

Sólo se realizará cuando $R_I < 0,1$ MΩ para demostrar que no hay contacto directo entre la cabeza de anclaje y las armaduras de la estructura anclada.

La diferencia de potencial será de 40 V de corriente alterna, con equipo de medición con rango de medida 0-200 kΩ.

Como toma de tierra se empleará la placa de apoyo, o cuando estuviera revestida por un aislante, la armadura de la estructura.

Este tipo de medidas es muy sensible a las condiciones climáticas, al estado de limpieza de los puntos de contacto eléctrico, etc., por lo que resulta recomendable efectuarlas varias veces.

Se considera que no existe contacto directo entre la cabeza del anclaje y las armaduras de acero de la estructura, cuando la resistencia entre la cabeza y la placa de apoyo o la armadura de acero es superior a 100 Ω ($R_{II} > 100$ Ω).

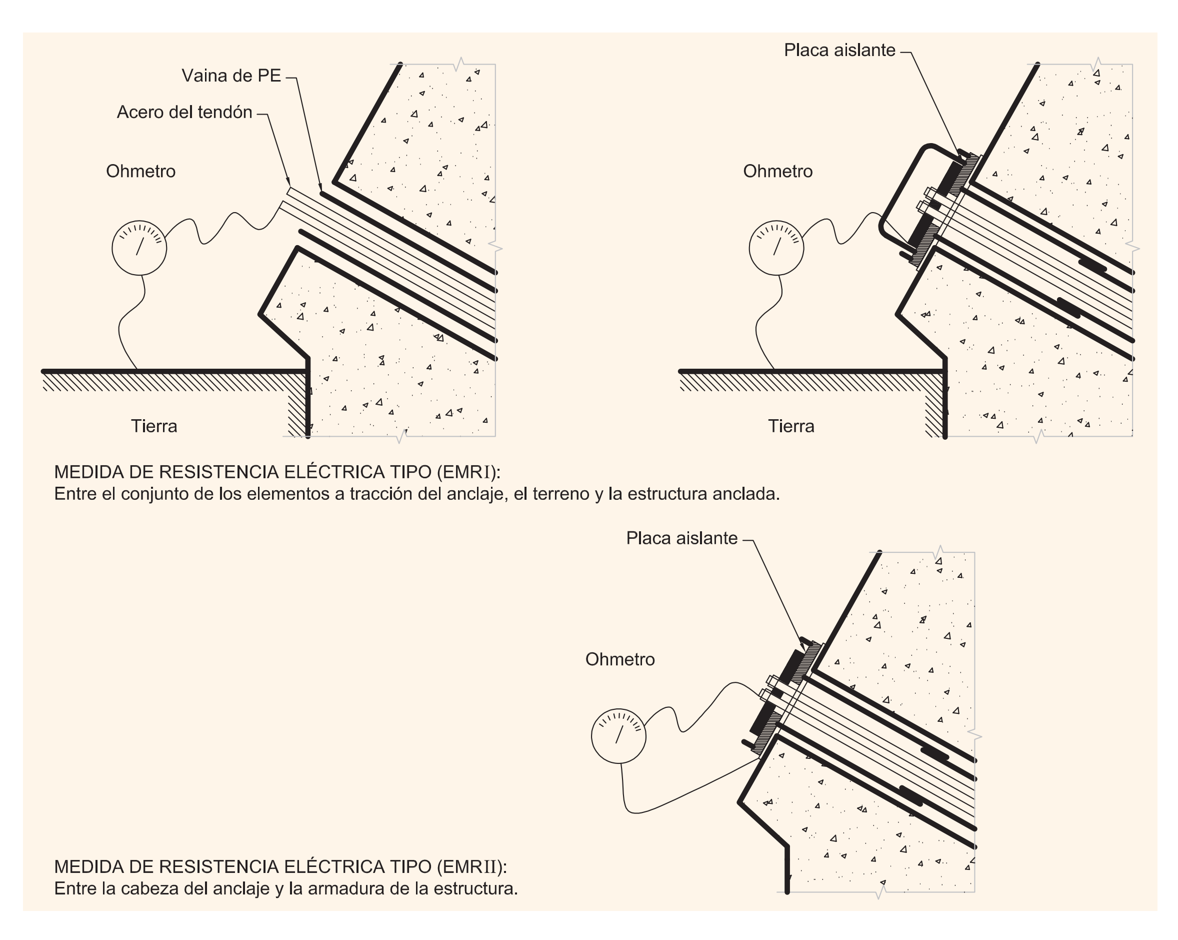


FIGURA 8.1. **MEDIDA DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA EN ANCLAJES INYECTADOS AL TERRENO**

8.2. APÉNDICE B: GRADO DE ALTERACIÓN DE LAS ROCAS, SEGÚN LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE MECÁNICA DE ROCAS, ISRM (1981)

GRADO	TÉRMINO	DESCRIPCIÓN (ISRM, 1981)
I	Fresca	No hay signos visibles de alteración en la roca: quizás alguna ligera decoloración en las superficies de las fracturas
II	Ligeramente alterada	La decoloración es indicativa de la alteración de la matriz rocosa y de las superficies de las fracturas. Todo el material rocoso puede estar decolorado por alteración y puede ser externamente más blando que en condición de fresco.
III	Moderadamente alterada	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada en suelo. La roca fresca o decolorada está presente tanto en las fracturas como en la roca matriz.
IV	Muy alterada	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada en suelo. La roca fresca o decolorada está presente tanto en las fracturas como en la roca matriz.
V	Completamente alterada	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. La estructura de la masa original está prácticamente intacta.
VI	Suelo residual	Toda la roca está transformada en suelo. La estructura y el material de origen están destruidos. Hay cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado de manera significativa.

8.3. APÉNDICE C: TEXTO ÍNTEGRO DE LAS NORMAS NLT 257 Y NLT 258. ENSAYOS DE PUESTA EN CARGA DE ANCLAJES

NLT-257/2000. ENSAYO DE PUESTA EN CARGA DE UN ANCLAJE MEDIANTE CICLOS INCREMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO POR FLUENCIA DE LA CABEZA DEL ANCLAJE

1. Objeto

El anclaje deberá cargarse en ciclos incrementales desde una carga de referencia hasta una carga máxima de ensayo. Se medirá el desplazamiento de la cabeza del anclaje durante un período de tiempo, para la carga máxima de cada ciclo incremental.

2. Ensayo de investigación - Procedimiento de carga

El anclaje deberá cargarse hasta la rotura, R_a, o hasta una tensión de prueba, P_p, que deberá estar limitada por el menor valor de entre (*)$0{,}80P_{tk}$ y $0{,}95P_{t0,1k}$.

El anclaje deberá alcanzar la carga máxima de ensayo en un mínimo de seis ciclos. (Véase la tabla 1).

Los ciclos de carga y períodos de observación mínimos se indican en la tabla 1.

Cuando se efectúe un seguimiento de los desplazamientos por fluencia, la carga máxima para cada ciclo deberá mantenerse durante un tiempo mínimo de 15 minutos para cargas inferiores a P_p y durante 60 minutos para cargas iguales a P_p, en los suelos no coherentes, o 180 minutos en los suelos coherentes. Estos períodos deberán aumentarse hasta que el índice de desplazamiento por fluencia de la carga sea relativamente constante.

3. Ensayo de adecuación - Procedimiento de carga

La tensión de prueba exigida para el anclaje en funcionamiento será:

$$P_p \geq 1{,}25P_o \text{ ó } P_p \geq R_d$$

Seleccionándose el mayor valor de los dos, siempre que $1{,}25P_o$ y R_d sean menores que $0{,}95\ P_{t0,1k}$.

En caso contrario se tomará como tensión de prueba el valor de $0{,}95P_{t0,1k}$(*).

Los ciclos de carga y períodos de observación mínimos se indican en la tabla 1.

El anclaje se podrá cargar hasta la carga máxima de ensayo en un mínimo de cinco ciclos de carga, suprimiendo el primer ciclo de la tabla 1.

El índice máximo de desplazamiento por fluencia, k_s, para la tensión de prueba ensayada, no deberá sobrepasar 1 mm, cuando se hayan efectuado ensayos de investigación. Cuando no se haya obtenido la tensión de rotura (definida como k_s = 2 mm) en los ensayos de investigación, el valor de k_s, para la tensión de prueba no deberá sobrepasar 0,8 mm.

4. Ensayo de aceptación - Procedimiento de carga

El anclaje deberá cargarse a la tensión de prueba, P_p, mediante un mínimo de tres incrementos idénticos. A continuación, el anclaje deberá descargarse hasta una carga de referencia P_a y ser

(*) P_{tk} = Carga característica de la armadura.
$P_{t0,1k}$ = Carga característica para la cual hay una deformación permanente del 0,1%.

cargado de nuevo a la tensión de bloqueo, P_o. La tensión de prueba deberá ser igual al menor valor de entre 1,25P_o, y 0,9$P_{t0,1k}$.

Nota: Las curvas de cargas y deformaciones pueden facilitar información adicional sobre el terreno y el comportamiento de los componentes del anclaje en el mismo.

El período de seguimiento no deberá ser inferior a 5 minutos para la tensión de prueba.

Se aplicará el límite siguiente:

El índice de desplazamiento por fluencia, k_s, no deberá sobrepasar 0,8 mm para la tensión de prueba, ni 0,5 mm para la tensión del bloqueo, $P_{o.}$

Valores superiores de k_s, hasta 1 mm, para la tensión de prueba, podrán ser admitidos, si se ha demostrado en ensayos de investigación, realizados previamente, que son admisibles.

5. Medición de las características de fluencia y de la longitud libre aparente

Se deberá medir el incremento del desplazamiento de la cabeza del anclaje al final de los intervalos de tiempo determinados para los incrementos de carga indicados en la tabla 1. El índice de fluencia deberá determinarse después de medirse el índice de desplazamiento por fluencia, k_s, durante dos intervalos de tiempo.

El índice de desplazamiento por fluencia, k_s, se define de la manera siguiente:

$$k_s = (s_2 - s_1)/\log(t_2/t_1)$$

donde:

s_1 es el desplazamiento de la cabeza en el tiempo t_1

s_2 es el desplazamiento de la cabeza en el tiempo t_2

t es el tiempo después de aplicarse el incremento de carga.

El índice de fluencia límite, es el índice máximo de fluencia permitido al nivel de carga determinado.

Las mediciones del desplazamiento de la cabeza del anclaje, o de la pérdida de carga, deberán realizarse en los períodos en los que se mantenga un valor de carga constante.

Para los distintos períodos de observación, asociados con los niveles máximos de carga cíclica (tabla 1), los instantes, en minutos, en que se realizarán las lecturas serán:

1 - 2 - 3 - 5 - 15 - 20 - 30 - 45 - 60 - 70 - 80 - 90 - 120 - 150 - 180.

La longitud libre aparente (L_{ap}) se calculará a partir de la expresión:

$$L_{ap} = \frac{(A_a \cdot E_a \cdot \Delta s)}{\Delta P}$$

donde:

A_a: área de la sección de armadura

E_a: módulo de elasticidad de la armadura

Δs: deformación elástica de la armadura

ΔP: valor de la tensión de prueba menos la tensión de referencia

La longitud libre aparente deberá estar comprendida entre los siguientes valores:

$$L_{ap} \leq L_{libre} + 0{,}5\ L_{bulbo} + L_{externa}$$

$$L_{ap} > 0{,}8\ L_{libre} + L_{externa}$$

siendo $L_{externa}$ la longitud existente entre la cabeza del anclaje y el punto de aplicación de la carga.

TABLA 1. **CICLOS DE CARGA Y PERÍODOS MÍNIMOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN Y ADECUACIÓN EFECTUADOS SOBRE LOS ANCLAJES**

NIVELES DE CARGA % P_p						PERÍODO MÍNIMO DE OBSERVACIÓN EN MINUTOS
CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 4	CICLO 5	CICLO 6	
10	10	10	10	10	10	1
	25	40	55	70	85	1
25	40	55	70	85	100	15 (60 ó 180)
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

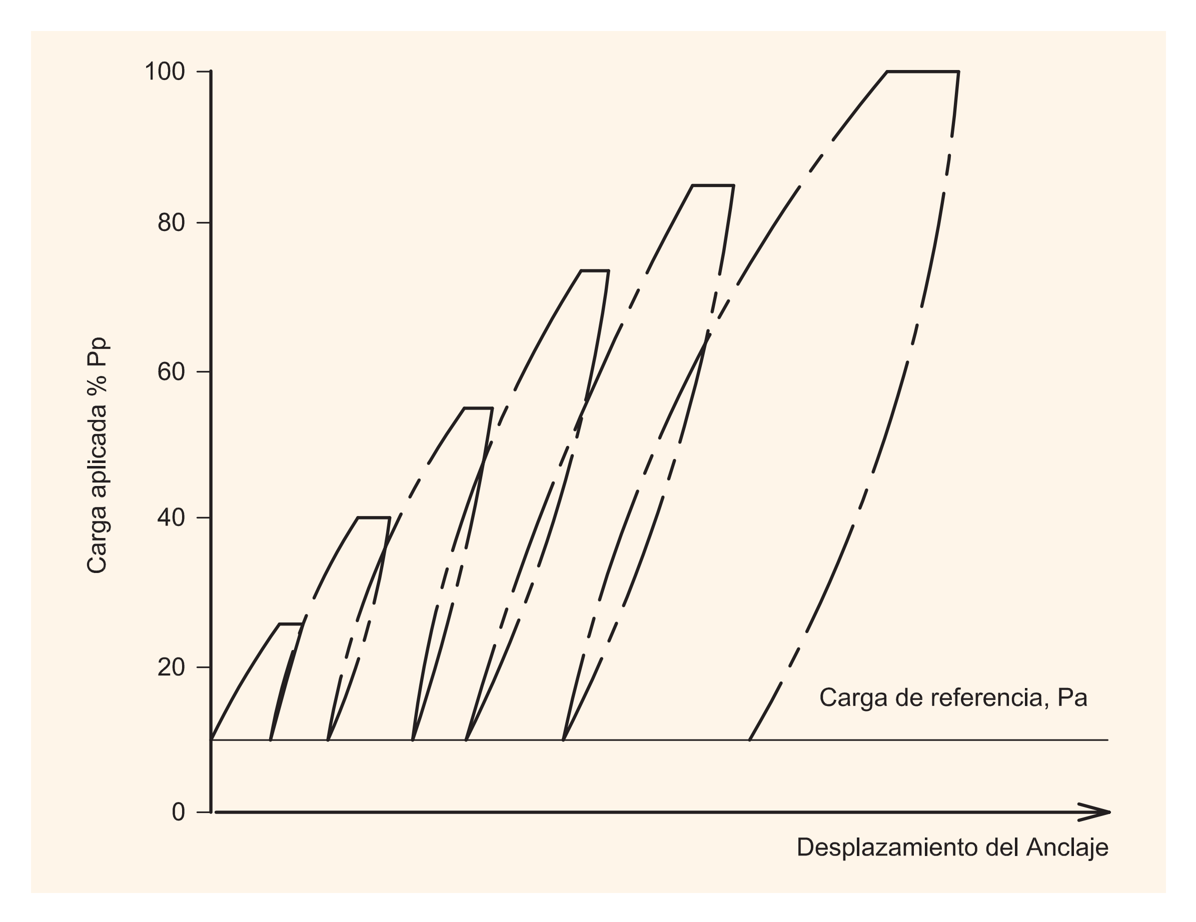


FIGURA 1. **PROCEDIMIENTO DE CARGA PARA EL MÉTODO DE ENSAYO**

NLT-258/2000. ENSAYO DE PUESTA EN CARGA DE UN ANCLAJE MEDIANTE FASES INCREMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO POR FLUENCIA DE LA CABEZA DEL ANCLAJE

1. Objeto

El anclaje deberá cargarse en fases incrementales desde una carga de referencia hasta la carga máxima de ensayo. Se medirá el desplazamiento de la cabeza del anclaje bajo carga mantenida en cada fase de carga.

2. Ensayo de investigación - Procedimiento de carga

El anclaje deberá cargarse hasta la rotura, R_a, o hasta una tensión de prueba, P_p, que deberá estar limitada por el menor valor de entre $0{,}80P_{tk}$ y $0{,}90P_{t0,1k}$.

El anclaje deberá cargarse hasta la carga máxima de ensayo en un mínimo de seis incrementos (Véase la tabla 1).

Los incrementos de carga y los períodos de observación mínimos se indican en la tabla 1.

Los períodos mínimos de observación, para los incrementos de carga, podrán reducirse a 30 minutos, en ausencia de fluencia apreciable.

TABLA 1. **FASES DE CARGA Y PERÍODOS MÍNIMOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN EFECTUADOS SOBRE LOS ANCLAJES**

INCREMENTOS DE CARGA $\%P_{t0,1k}$ 1) 2) 3)									
CARGA DE REFERENCIA	INCREM. 1	INCREM. 2	INCREM. 3	INCREM. 4	INCREM. 5	INCREM. 6	INCREM. 7	INCREM. 8	Nº DE INCREMENTOS DE CARGA
10	20	30	40	50	60	70	80	90	$\%P_{t0,1k}$
0	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	Período de observación (minutos)

1) Comenzar con la carga de referencia = $0{,}1\ P_{t0,1k}$
2) $P_{max} \leq 0{,}9\ P_{t0,1k}$
3) Ejempo dado para 8 incrementos de carga

3. Ensayo de adecuación

La tensión de prueba exigida para el anclaje en funcionamiento será:

$$P_p \geq 1{,}25P_o \text{ ó } P_p \geq R_d$$

Seleccionándose el mayor valor de los dos, siempre que $1{,}25P_o$ y R_d sean menores que $0{,}9P_{t0,1k}$.

Los incrementos de carga y períodos de observación mínimos se indican en la tabla 2.

Se podrá cargar el anclaje hasta la carga máxima de ensayo en un mínimo de cinco incrementos, suprimiendo el primer incremento de la tabla 2.

TABLA 2. **FASES DE CARGA Y PERÍODOS MÍNIMOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN EFECTUADOS SOBRE LOS ANCLAJES**

INCREMENTOS DE CARGA PARA ANCLAJES EN FUNCIONAMIENTO							
CARGA DE REFERENCIA	INCREM. 1	INCREM. 2	INCREM. 3	INCREM. 4	INCREM. 5	INCREM. 6	Nº DE INCREMENTOS DE CARGA
10	25	40	55	70	85	100	$\%P_p$
0	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	60 (30)	Período de observación (minutos)

El desplazamiento máximo por fluencia (α), para la tensión de prueba, deberá ser menor de 0,8 mm, cuando no se hayan efectuado ensayos de investigación. Cuando sí se hayan efectuado ensayos de investigación, el desplazamiento máximo por fluencia (α), para la tensión deberá ser menor de:

- 1,2 mm/log tiempo, para un anclaje temporal
- 1,0 mm/log tiempo, para un anclaje permanente

La tensión de prueba para los anclajes de proyecto no deberá sobrepasar el valor máximo de la tensión de fluencia, P_c, en ningún caso.

4. Ensayo de aceptación - Procedimiento de carga

El anclaje deberá cargarse desde la tensión de referencia, P_a, hasta la tensión de prueba, P_p, definida ésta por el valor más pequeño de entre 1,25 P_o y R_d (resistencia de diseño del anclaje), en un

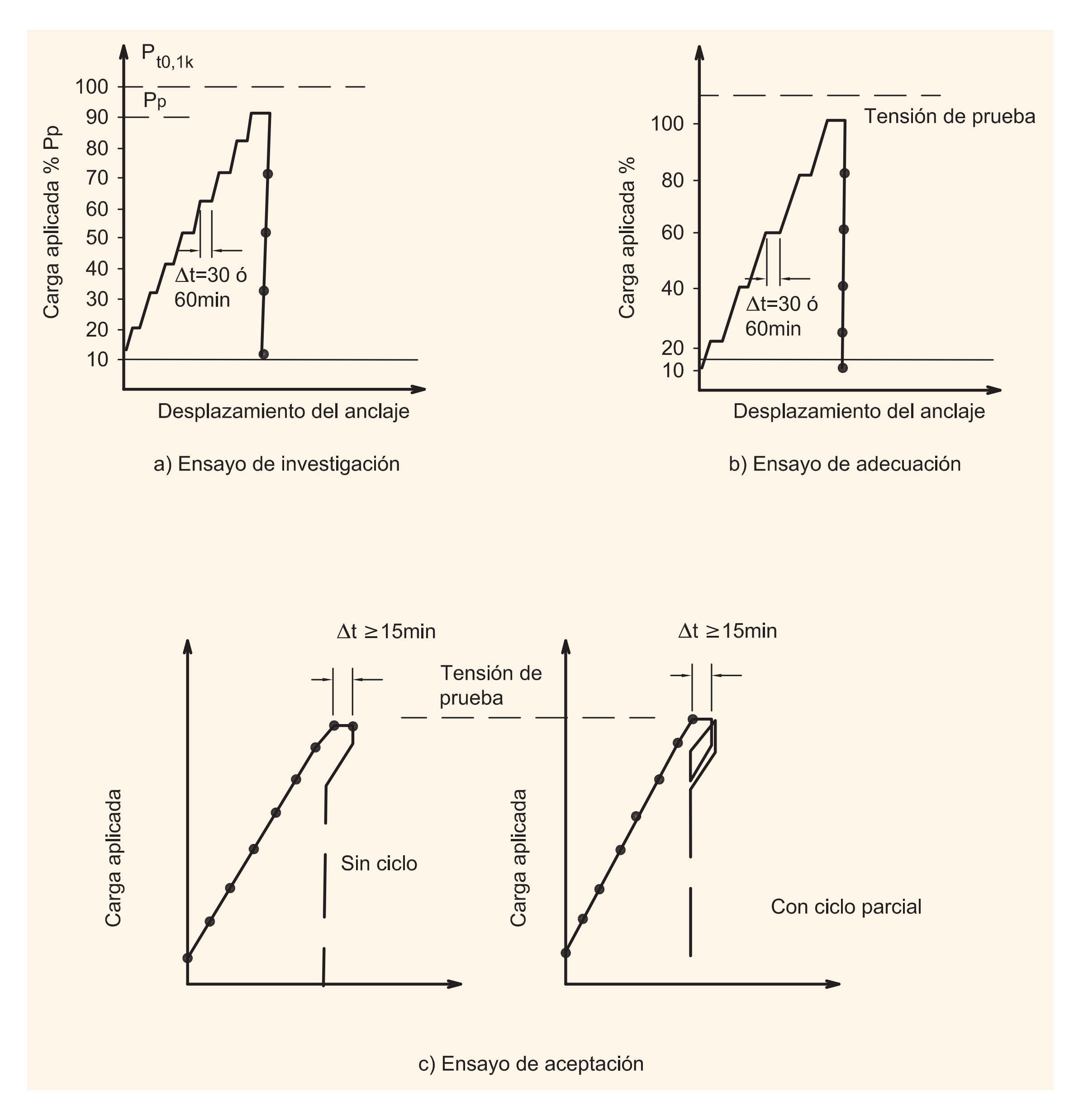


FIGURA 1. **PROCEDIMIENTO DE CARGA PARA EL MÉTODO DE ENSAYO**

mínimo de cuatro incrementos. La carga de prueba se mantendrá constante durante al menos 15 minutos.

Después de mantenerse la tensión de prueba durante el tiempo deseado, se podrá efectuar un ciclo de carga/descarga parcial o total.

Nota: Las curvas de cargas y deformaciones pueden facilitar información adicional sobre el terreno y el comportamiento de los componentes del anclaje en el mismo.

Los desplazamientos debidos a la fluencia para la tensión de prueba, deberán medirse entre el minuto tres (3) y el minuto quince (15). El desplazamiento máximo por fluencia correspondiente deberá ser menor que:

- 1,2 mm para los anclajes permanentes o temporales sin ensayos de investigación
- 1,5 mm para los anclajes permanentes con ensayos de investigación
- 1,8 mm para los anclajes temporales con ensayos de investigación

5. Medición de fluencia, de la carga característica y de la longitud libre aparente

La fluencia y la carga característica deberán medirse y evaluarse como se indica a continuación:

- El incremento del desplazamiento de la cabeza del anclaje relativo a un punto fijo, deberá medirse en cada fase de carga y en tiempos distintos.
- El desplazamiento por fluencia, α, deberá determinarse en cada fase de carga, tal como se indica en la figura 2. El desplazamiento por fluencia, α, se define como la inclinación de la curva definida por el desplazamiento de la cabeza del anclaje y el log tiempo, al final de cada fase de carga.
- La resistencia del anclaje, R_a, es la carga que corresponde a la asíntota vertical de la curva definida por el valor de α y la carga. Si no se puede determinar la asíntota, se considerará que R_a, es la carga que corresponde a un valor de α igual a 5 mm (Véase la figura 3).

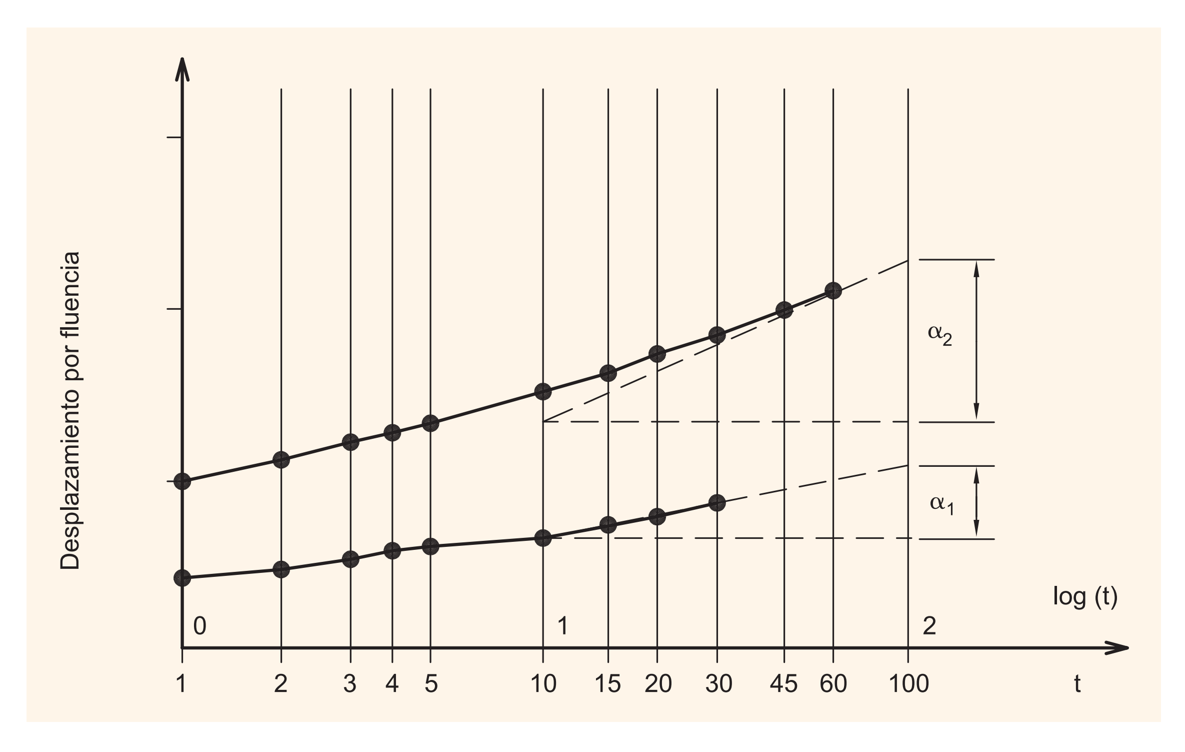


FIGURA 2. **EL DESPLAZAMIENTO POR FLUENCIA SE OBTIENE COMO LA PENDIENTE DE LA CURVA DEFINIDA POR EL DESPLAZAMIENTO DE LA CABEZA DEL ANCLAJE Y EL LOG DEL TIEMPO**

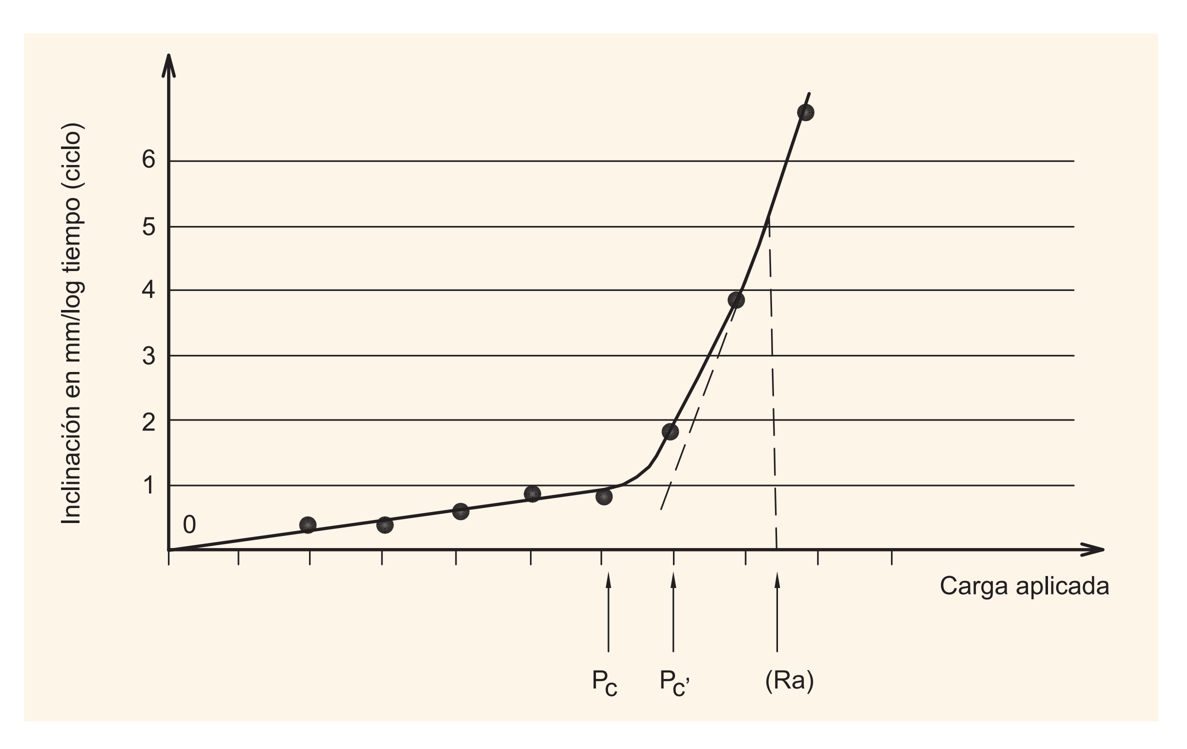


FIGURA 3. **CURVA FLUENCIA-CARGA APLICADA**

La carga por fluencia crítica, P_c, deberá determinarse como se indica en la figura 3. La carga por fluencia crítica es la carga que corresponde al final de la primera parte lineal de la curva definida por α y la carga. En los casos donde resulte difícil determinar P_c, con precisión, se podrá determinar una resistencia alternativa P_c', tal como se indica en la figura 3, definiéndose P_c como 0,9 P_c'.

La medición del desplazamiento por fluencia deberá realizarse en los tiempos indicados, después de cada incremento de carga. Los períodos de observación para cada fase son:

Ensayo de investigación - de 30 hasta 60 minutos

Ensayo de adecuación - de 30 hasta 60 minutos

Ensayo de aceptación - no menor de 15 minutos para la tensión de prueba

Los tiempos sucesivos de seguimiento (en minutos) para cada fase son:

1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 60

La longitud libre aparente (L_{ap}) se calculará a partir de la expresión:

donde:

$$L_{ap} = \frac{(A_a \cdot E_a \cdot \Delta s)}{\Delta P}$$

A_a: área de la sección de armadura

E_a: módulo de elasticidad de la armadura

Δs: deformación elástica de la armadura

ΔP: valor de la tensión de prueba menos la tensión de referencia

La longitud libre aparente deberá estar comprendida entre los siguientes valores:

$$L_{ap} \leq L_{libre} + 0,5\, L_{bulbo} + L_{externa}$$

$$L_{ap} > 0,8\, L_{libre} + L_{externa}$$

siendo $L_{externa}$ la longitud existente entre la cabeza del anclaje y el punto de aplicación de la carga.